Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики

Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

«ОЦІНКА РАДІАЦІЙНОГО СТАНУ ТЕРИТОРІЇ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ НА ПРИКЛАДІ СЕЛИЩА П'ЯТИХАТКИ М.ХАРКІВ»

Виконав студент 2 курсу,
групи НФ-61
Федоров М.О. _____
Спеціальність 105 Прикладна фізика
та наноматеріали
Освітня програма: Прикладна фізика
енергетичних систем
Керівник:
д-р фіз.-мат. наук, професор
Пеліхатий М. М. _____
Рецензент:
_____ _____

Харків – 2019

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

_____ _Ткаченко В.І.
підпис ініціали,прізвище

"____"_____20___року

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

_____Федорова Максима Олексійовича_____
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи «Оцінка радіаційного стану території в режимі реального часу на прикладі селища П'ятихатки м.Харків»,

керівник роботи Пеліхатий М. М. д-р фіз.-мат. наук, професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від "_"_____

2. Строк подання студентом роботи _____
3. Перелік питань, які потрібно розробити
Обрати територію на якій будуть проводитися вимірювання, та скласти її мапу. Провести вимірювання рівня радіаційного фону та зафіксувати погодні умови протягом календарного місяця. Провести аналіз отриманих результатів, та зробити висновки.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Аналітичний огляд наукових робіт.
2	Проведення вимірювань на обраній території.
3	Первинна обробка даних.
4	Аналіз та обробка отриманих результатів.
5	Висновки.

5. Дата видачі завдання_______

Студент _____ **Федоров М.О.**
підпис ініціали,прізвище

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

Реферат

Федоров Максим Олексійович «Оцінка радіаційного стану території в режимі реального часу на прикладі сел.п’ятихатки»**(**випускна робота магістра). Виконав студент фізико-енергетичного факультету , Харківського Національного Університету імені В.Н. Каразіна, 2019 р. -

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновка і додатку; містить 38 рисунків та 4 таблиці, список використаних джерел з 16 найменуваннями.

У роботі досліджуються питання пов’язані з екологічною безпекою населення сел. П’ятихатки Київського району міста Харкова. Проведено вимірювання радіаційного фону в крайньому, не промисловому, житловому районі міста. Розроблена методика обробки отриманих даних та побудовані карти радіаційного фон для вивчення рівня екологічної безпеки. Наведена залежність потужності дози радіаційного випромінювання від метеомуов.

Ключові слова:РАДІАЦІЯ, РАДІАЦІЙНИЙ ФОН, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, РЕГРЕСИВНА МОДЕЛЬ, КАРТА РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ.

РЕФЕРАТ

Федоров Максим Алексеевич «Оценка радиационной обстановки территории в режиме реального времени на примере пос.Пятихатки» (выпускная работа магистра). Выполнил студент физико-энергетического факультета, Харьковского Национального Университета имени В.Н. Каразина, 2019. -

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений; содержит 38 рисунков и 4 таблицы, список использованных источников из 16 наименований.

В работе исследуются вопросы связываные с экологической безопасностью населения пос. Пятихатки Киивського района города Харькова. Проведены измерения радиационного фона в крайнем, не промышленном, жилом районе города. Разработана методика обработки полученных данных и построены карты радиационного фона для изучения уровня экологической безопасности. Приведена зависимость мощности дозы радиационного излучения от метеоусловий.

Ключевые слова: РАДИАЦИЯ, РАДИАЦИОННЫЙ ФОН, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, РЕГРЕСИОННАЯ МОДЕЛЬ, КАРТА РАДИАЦИОННОГО ФОНА.

Abstract

Fyodorov Maxim "Assessment of the radiation status of the territory in real time on the example of a village Pyatyhatky" (master's thesis). He is a student of the Faculty of Physics and Energy, VN Kharkiv National University. Karazin, 2019 -

The work consists of an introduction, four sections, a conclusion and an appendix; contains 38 figures and 4 tables, a list of sources used with 16 names.

This paper explores issues related to the environmental safety of rural populations Pytyhatky Kiev district of Kharkiv. The background radiation was measured in the extreme, not industrial, residential area of the city. Methods of processing of the received data are developed and maps of radiation background for studying the level of ecological safety are constructed. The dependence of the radiation dose rate on the meteomyos is given.

Keywords: RADIATION, RADIATION BACKGROUND, ENVIRONMENTAL SAFETY, REGRESSION MODEL, RADIATION BACKGROUND CARD.

Зміст

Вступ 8

РОЗДІЛ 1 Стан вивченості питання зміни показників радіаційного фон.....11

РОЗДІЛ 2 Методика проведення експерименту.....18

РОЗДІЛ 3 Первинна обробка отриманих даних.....23

РОЗДІЛ 4 Результати дослідження рівня радіаційного фону та побудова регресійних моделей…….....28

Висновки 48

Список використаних джерел 49

Додатки 51

Вступ

Ні для кого не є секретом, що сучасна екологічна обстановка ще далека від ідеалу. З тих пір як людина стала активно використовувати атомну енергію, застосовувати електромагнітне, рентгенівське і гамма-випромінювання в промисловості, медицині та інших галузях, вести регулярний видобуток підземних копалин, ніхто не застрахований від дії радіоактивного опромінення.

Що собою являє явище радіації всім в тій чи іншій мірі відомо. Природа радіоактивного випромінювання для сучасної середньостатистичної людини, може бути, і не ясна, але його дія і можливі способи опромінення всеж таки є інформацією цілком поширеною. Особливо на Україні, де пам'ять про Чорнобильську катастрофу та її наслідки ще жива. Тому сучасна людина знає, що радіація може поширюватися з неймовірною швидкістю і зберігати свою дію тривалий час. Що місцевість, житло, продукти, одяг, предмети побуту можуть бути радіоактивними. Що серйозному опроміненню можна піддатися в, здавалося б, нешкідливою обстановці: на вулиці, на природі, на дачі, будинку, у власній квартирі. Не дивлячись на значну інформованість населення, питанню вимірювання радіації приділяється не так багато уваги, як це варто було б.

Вимірювання радіації – що це за процес? Наскільки складний? Чи доступна така перевірка для побутових умов? Деякий час тому активно рекламувалися побутові дозиметри – пристрої для вимірювання радіації домашнього користування. Але активне захоплення цими пристроями зійшло нанівець, і це сталося з зрозумілих причин. Застосування побутових вимірювачів завдало ще більшої шкоди, ніж інтуїтивний, не підкріплений конкретними цифрами вибір товарів і продуктів. Справа в тому, що побутові дозиметри мають занадто високу похибку показників. Таким чином, людина, підозрюючи той чи інший продукт в радіоактивності,

отримував, м'яко кажучи, некоректну інформацію. В результаті спостерігався різкий стрибок «отруєнь» і помилкових звернень до лікарні.

В наш час рівень радіації є невід'ємним фактором, що характеризує екологічний стан води, повітря, об'єктів нерухомості (земельна ділянка, квартира, офісне приміщення, дача) і продуктів харчування. Руйнівний вплив радіації на організм людина відчуває в повсякденному житті, тому норми радіації, що прийняті в даний час [1], визначають як обов'язковий контроль рівня радіації при будівництві будівель і споруд, здачі будинків в експлуатацію, радіаційно-гігієнічний контроль, так і добровільні вимірювання радіації.

Як свідчить практика контролю рівня радіації, основними джерелами негативного впливу є будівельно-оздоблювальні матеріали, які виготовлені з природних компонентів, і радон. Радон – це природний радіоактивний газ без кольору і запаху. Виділяється з землі і дуже добре розчиняється у воді. У приміщення він потрапляє через підвали і з будівельно-оздоблювальних матеріалів.

Таким чином, питання вимірювання рівня радіаційного випромінювання залишається актуальним. Рішення в даній ситуації може дати тільки професійна техніка, що надає точні дані. Одна з переваг професійних вимірювачів радіації в тому, що їх можна застосовувати не тільки в побутових умовах. Крім виміру рівня випромінювання продуктів, техніки, одягу, меблів, дитячих іграшок і т.д., за допомогою професійних лічильників можна отримати об’єктивні дані щодо радіоактивності земельної ділянки, офісного або промислового приміщення. Це будуть науково коректні точні дані, на основі яких можна складати офіційні документи [2].

При вимірюванні радіації за допомогою професійної техніки слід враховувати деякі нюанси. Сам по собі вимірювач дає тільки результат –

цифру. Але отримана цифра може перебувати в межах норми або її перевищувати. За норму слід брати європейські показники. Так, на Україні і в Росії допустима норма випромінювання занижена. Наприклад, в Німеччині допустима норма радіації вище російської в десять разів. Якщо при перевірці території або приміщення було виявлено перевищення норми, слід шукати джерело випромінювання. Вимірювач на джерело реагуватиме підвищенням даних, так можна локалізувати джерело випромінювання. У тому випадку, якщо датчик вкаже значне перевищення норми, слід викликати екологічну службу або фахівців МНС [3].

РОЗДІЛ 1

СТАН ВИВЧЕНОСТІ ПИТАННЯ ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ

Відкриття радіоактивності стало початком нової епохи в вивченні безпеки навколишнього середовища. Відкрилися нові горизонти в сферах промисловості, військовій галузі. медицині, енергетиці,тощо. Але й існують негативні наслідки цього відкриття , це забруднення навколишнього середовища. Саме зараз мільйони людей в світі проживають в несприятливій радіаційній обстановці [11].

Багатьма проблемами які будуть розглянуті та досліджені у цій роботі займається радіоекологія

Радіаційна екологія – це область природознавства, що вивчає вплив іонізуючої радіації на живі організмі и біоту в цілому [12].

В історії радіоекології можна виділити чотири етапи [13].

1. 1 Перший етап (1895-1940-ві)

Перший етап вивчення – довоєнний, який почався з відкриття Вільгельмом Конрадом Рентгеном в 1895 році Х-променів, названих згодом рентгенівськими [23]. Відкриття рентгенівських променів і повідомлення 24 лютого 1896 року на засіданні Французької академії наук професора Анрі Беккереля про те, що солі урану випускають промені, що мають властивість іонізувати повітря (надалі назване природною радіоактивністю), дало початок розвитку радіоекології[11].

Відкриття А. Беккереля зацікавили відомих вчених того часу, головними з яких можна виділити: Марію та П'єра Кюрі, Ернеста Резерфорда, Ф. Содді [11]

Марія и П'єр Кюрі виявили радіоактивність торію. Ернест Резерфорд показав, що радіація складається з трьох типів випромінювання: α-, β-, γ-промені, а також розкрив ядерної природу радіації [14].

З вітчизняних вчених можна виділити Володимира Івановича Вернандського, що описав закономірності накопичення радію прісноводними рослинами, Ігора Васильовича Курчатова, який вивчав радіоактивність снігу и дощу [9]. До початку сорокових років відноситься і публікація наукових робіт В.Ф. Наталі про вплив іонізуючого випромінювання на статеву систему риб [11].

Всі ці передумови привели до зародження ядерної фізики, радіаційної біології та екології, бурхливий розвиток яких почалося вже в XX столітті – і наслідком яких стала поява перших ядерних реакторів і першої атомної зброїх[11].

Завершенням довоєнного етапу вважається період 40-х років XX століття з виникненням атомних бомб спочатку в США, а після і в колишньому Радянському Союзі – це ознаменувало вступ людства в атомну еру [13].

1. 2 Другий етап (50-60-ті роки XX сторіччя)

Другий етап – 50-60-ті роки [13]. Інтенсивне випробування ядерної і термоядерної зброї в 50-х - 60-х і швидкий розвиток атомної енергетики призвів до викидів в біосферу величезних мас радіоактивних речовин. До цього треба додати забруднення навколишнього середовища радіонуклідами, внаслідок проведених вибухів атомних зарядів в мирних цілях[11].

Починаючи з середини 40-х років XX століття, з часу першого випробування атомної бомби в Аламогордо було проведено близько 1900 ядерних вибухів в атмосфері, гідросфері і літосфері, які призвели до

значного збільшення глобального радіаційного фону. До цього варто додати численні аварії на реакторах атомних електростанцій, бойових кораблях, сховищах радіоактивних відходів, на промислових підприємствах по збагаченню ядерного матеріалу [11].

До інших джерел 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, дослідні роботи в галузі ядерної фізики, а також використання радіоізотопів в науці, промисловості, сільському господарстві, медицині[11].

Випробування атомної зброї 1944-1963 років призвело до глобального забруднення продуктами радіоактивного розпаду поверхні планети і всіх її рухомих оболонок [11]. Вчені з'ясували, що радіоактивні частинки в складі пилу переносяться на великі відстані атмосферними масами і випадають на поверхню Землі з дощем і снігом, забруднюючи ґрунт радіонуклідами. Останні по харчових ланцюжках від зерна і трави через м'ясо і молоко тварин, потрапляють в організм людини і руйнують його. Виявилося, що тепер вся біота Землі змушена існувати в зовсім нових умовах – в умовах підвищеного впливу радіації. Тому треба було терміново переорієнтувати значні наукові сили в русло вивчення впливу іонізуючих випромінювань на живі організми[11].

У 1954 році вступила в дію перша в світі атомна електростанція в місті Обнінськ Калузької області [13].

У 1957 році відбулася нарада біологів колишнього СРСР, організована Академією Наук СРСР, на якому було прийнято рішення про значне посилення досліджень в області радіобіології [11]. Слідом за цим у терміновому порядку в багатьох академічних установах країни були організовані і технічно оснащені лабораторії радіобіології, якими керували

провідні фахівці в галузі біології: В. М. Клечковській, А. М. Кузин, Н. П. Дубінін, П. П. Вавілов, А. А. Передельскийта інші. Вони показали, що штучна радіоактивність, що вноситися людиною в природу, – це новий потужній екологічний фактор [12].

В. М. Клечковській, зокрема, вивчав як поводять себе радіоактивні продукти поділу важких ядер (ізотопів стронцію, ітрію, цезію, цирконію) у ґрунтах и їх надходження в рослини [11].

Радіоекологія була новою в системі Академії наук, тому потрібні були значні зусилля для підготовки фахівців. У їх вихованні взяв активну участь знаменитий біолог-генетик Н.В. Тимофєєв-Ресовський [1], який працював тоді в Ільменському заповіднику (м. Міас). Екологам потрібно вивчати долю радіоактивних речовин, що потрапляють в навколишнє середовище, вплив їх на окремих осіб, популяції і екосистеми. Ще до початку 60-х років були отримані численні дані, що характеризують радіочутливість окремих видів і співтовариств організмів до опромінення від зовнішніх джерел[11].

У всьому світі цю науку називали тоді радіаційною біогеоценологією (Тимофєєв-Ресовський Н. В., 1957). Уже в той час у радіоекології виділилися два головних напрямки: вивчення впливу іонізуючих випромінювань на живі організми і закономірності розподілу та накопичення радіонуклідів в природних співтовариствах. Головним науковим закладом, що зосередив дослідження по накопиченню і розподілу радіонуклідів по основних компонентах біогеоценозів, став тоді Інститут біології Уральської філії АН СРСР, згодом перейменований в Інститут екології рослин і тварин. Керівництво роботами здійснював Н.В. Тимофєєв-Ресовський [11].

Через накопичення інформації в радіоекології поступово стали формуватися дві головні галузі: морська і континентальна, що займаються, відповідно, екосистемами океанів і континентів. У свою чергу в

континентальній радіоекології виділилися два напрямки: радіоекологія суші і континентальних водойм[11].

Галуззю континентальної радіоекології стала радіоекологія тварин – праці А. І. Іллєнко, Д. А. Кріволуцкій і В. Є. Соколова, в яких досліджували також вплив радіації на популяції тварин. Багато наукових статей по накопиченню стронцію прісноводними рибами належить Г. Д. Лебедєвої (1961, 1962 1968) [11].

У п'ятдесяті роки в пресі з'явилися перші результати досліджень по забрудненню континентальних водойм радіоактивним стронцієм і руху його по харчових ланцюгах (А. М. Марей, 1955, 1958, 1961) [11].

1. 3 Третій етап (1960-1986 роки)

Третій період починається з кінця 60-х років [23] У наступні роки континентальна радіоекологія отримала розвиток в фундаментальних працях уральських вчених Н. В. Куликова і І. В. Молчанової (1975, 1977, 1988) [1]. Ще в 50-60-ті роки вони отримали дані щодо швидкості і міцності фіксації радіонуклідів різними ґрунтами, ступеня рухливості радіоактивних елементів в системах «ґрунт-розчин», «ґрунт-рослина» і «вода-гідробіонти». Були проведені експерименти з вивчення радіочутливості сотень видів культурних рослин, визначені значення коефіцієнтів накопичення радіонуклідів в представниках прісноводної фауни і флори[1].

Морська радіоекологія послідовно розвивалася в працях Г. Г. Полікарпова і його учнів (1964, 1986), а потім в роботі А. Є. Каткова (1985) [11].

Бурхливий розвиток атомної енергетики в 70–80-ті роки сприяв повороту уваги дослідників в сторону екологічних проблем, безпосередньо пов'язаних з експлуатацією енергоустановок на ядерному паливі. У цей

період при великих атомних електростанціях були створені лабораторії, що займаються радіоекологічними проблемами, що стосуються наземних і прісноводних екосистем. Дослідження на біофізичній станції Інституту екології рослин і тварин УО РАН при Белоярскій АЕС показали, що обережна і грамотна експлуатація об'єктів атомної енергетики абсолютно безпечна для навколишнього середовища[11].

1. 4 Четвертий етап (1986 рік – теперішній час)

Четвертий етап почався після аварії на Чорнобильській АЕС у 1986. Він характеризується вивченням ступеня ризику використання АЕС, розробкою технологій безпечного використання ядерної енергетики та утилізації радіоактивних відходів [12].

Наслідки від аварії на Чорнобильській АЕС окутали всю планету та, випавши радіоактивними опадами, підвищили глобальний радіаційний фон. Фахівці-радіоекології використовують це, вивчаючи процеси взаємодії радіоактивних домішок, що випадають з атмосфери, з ґрунтово-рослинним покривом, явища сорбції та міцності фіксації багатьох штучних радіонуклідів в різних ґрунтах, закономірності засвоєння їх живими організмами і руху радіоактивних елементів по харчових ланцюжках [11].

Безпрецедентна за масштабами аварія на Чорнобильській АЕС змусила дуже збільшити масштаб радіоекологічних досліджень. Як ніколи зросло міжнародне співробітництво вчених в цій галузі, оскільки з розвитком атомної енергетики і збільшенням кількості розроблюваних ядерних технологій неминуче зростає і радіаційна небезпека. До теперішнього часу вже досить добре вивчено розподіл радіонуклідів в організмах наземних тварин і в гідробіонтах, а також рух природних і штучних радіоактивних елементів по харчових ланцюгах[11]. З цієї причини моніторинг радіаційного забруднення став вкрай важливою проблемою – необхідно

було стежити за поширенням радіаційного фону та вивчати, як накопичуються нукліди [12].

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) [11].

Зараз основна увага вчених прикута до методів зниження кількості радіоактивних речовин, що потрапляють в навколишнє середовище, зменшення їх активності та біологічної доступності [12].

Можна виділити вчених: Є. П. Ісаченко, І. П. Стаматова,А. Л. Зельдіну, які видали роботу «Викид природних радіонуклідів у Навколишнє середовище у результаті діяльності підприємств неядерної галузі». У ній представлені всі види підприємств різних неядерних галузей, в наслідок функціонування яких у навколишнє середовище надходять природні радіонукліді [15].

РОЗДІЛ 2

Методика проведення експерименту

Для початку експерименту необхідно було правильно скласти мапу досліджуваної території та визначити на ній 25 точок, у яких буде проводитися вимірювання дози безперервного гама-випромінювання;. Загальній діаметр обраної території d=1км. У обраній території присутня така інфраструктура як школи, поштове відділення, церква, житлові будинки, супермаркет що можно бачити на рис.1. Вибір на користь такого малого діаметру зумовлений тим що так можно покрити майже весь досліджуваний район, та тим що це допоможе позбутися зайвих похибок вимірювань.

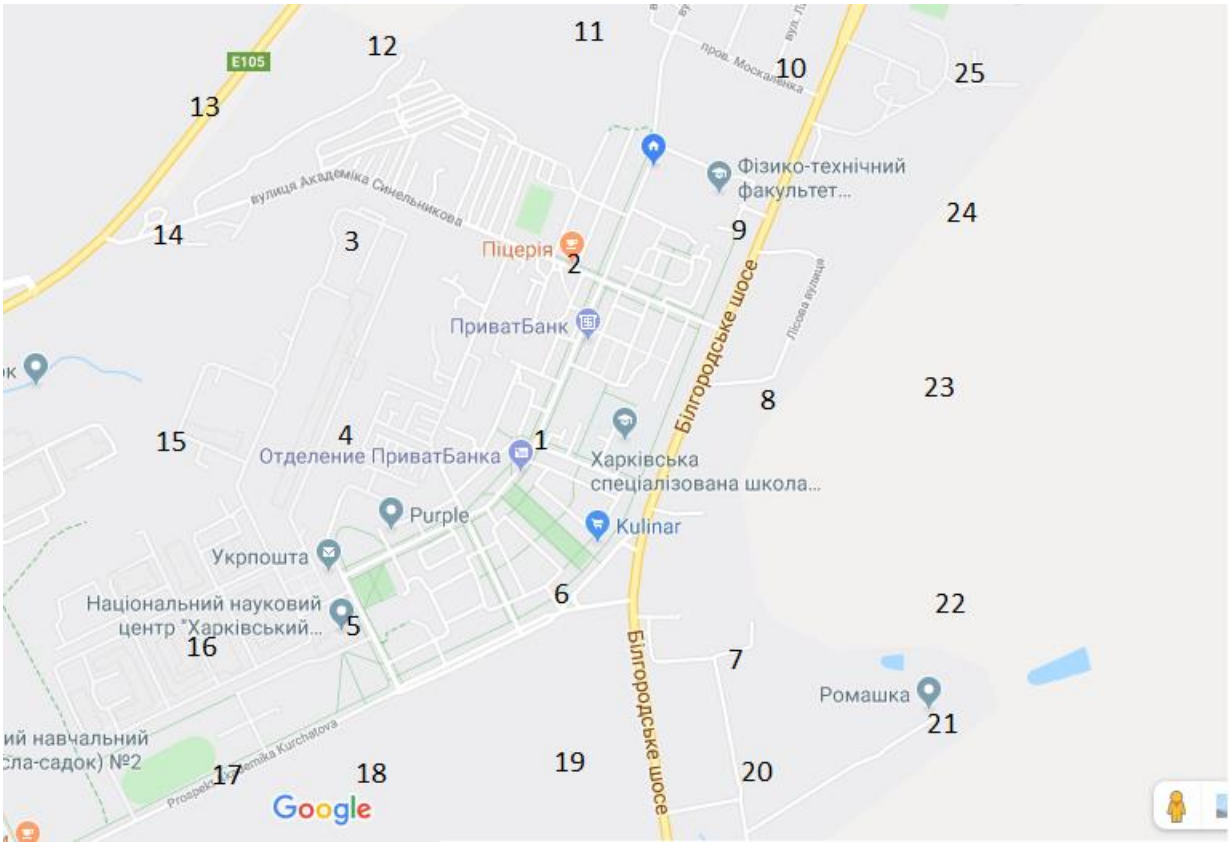


Рис. 1 Схема розміщення точок спостереження на території сел.П’ятихатки

Сам експеримент проходив 30 календарних днів з 01 жовтня 2019 р. по 31 жовтня 2019 р. включно. Приблизно у один і той же час за 12 до 14 годин в кожній із 25 обраних точок послідовно було проведене вимірювання дози безперервного гама-випромінювання.

Для проведення безпосередньо вимірювання у рамках дослідження використовувався дозиметр-радіометр МКС-05 “ТЕРРА” від виробника “ЕКОТЕСТ” з абсолютною похибкою відліку 0,01 мкЗв/год. Згідно з інформацією від виробника [16], даний дозиметр-радіометр має номер у Державному реєстрі засобів вимірювальної техніки У1524-07, висновок державної санітарно-гігієнічної експертизи №5.10/6300 від 20. 02. 2002 р. та висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи для використання в закладах освіти № 05.03.02-04/20545 від 09. 04. 2009 р. Це професійний прилад для здійснення офіційних замірів, який вимірює рівень гамма-фону, бета-забруднення, накопичену дозу та час її накопичення. Оперативна оцінка гамма-фону здійснюється протягом 10 секунд.[16]. Загальний вид приладу можно спостерігати на рис. 2.

Разом з вимірюваннями фіксувалися дані про погодні умови такі як напрямок вітру, температура повітря, швидкість вітру, хмарність, вологість.

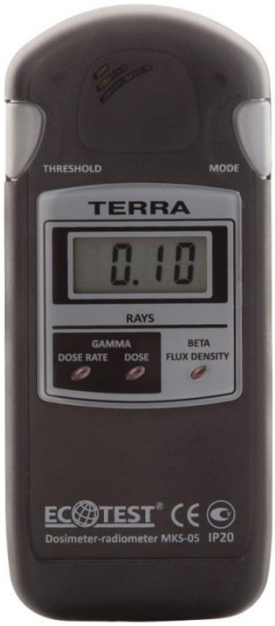


Рис 2. Дозиметр МКС-05 “ТЕРРА”

Отримані результати вимірювання амбієнтного еквіваленту потужності дози безперервного гама-випромінювання наведені в табл. 1 в одиницях мкЗв/год. У представленій таблиці координати кожної точки вимірювань вказуються в метрах відносно нульової точки (центру зони); наведені погодні умови під час проведення вимірювання (напрямок вітру, хмарність - в балах, температура повітря - в °С, середня швидкість вітру – в м/с, вологість повітря - у %. Напрямок вітру у градусах. За початковий напрямок було прийнято північний, надалі проти годинникової стрілки здійснювався відлік напрямку вітру: північно-західний – 45°, західний – 90°, південно-західний – 135°, південний – 180°, південно-східний – 225°, східний – 270°, північно-східний – 315°.

	Координати. М		Дата вимірювань														
№ Точки	X	Y	01.окт	02.окт	03.окт	04.окт	05.окт	06.окт	07.окт	08.окт	09.окт	10.окт	11.окт	12.окт	13.окт	14.окт	15.окт
1	0	0	0,09	0,09	0,09	0,09	0,11	0,08	0,09	0,11	0,1	0,1	0,11	0,12	0,15	0,11	0,11
2	10	240	0,12	0,11	0,1	0,1	0,1	0,08	0,12	0,12	0,09	0,11	0,12	0,09	0,08	0,1	0,12
3	-250	250	0,09	0,13	0,11	0,12	0,09	0,11	0,13	0,14	0,11	0,11	0,13	0,11	0,12	0,11	0,09
4	-250	0	0,12	0,14	0,13	0,15	0,11	0,12	0,12	0,15	0,13	0,12	0,11	0,15	0,12	0,16	0,14
5	-250	-250	0,13	0,15	0,12	0,14	0,12	0,13	0,15	0,12	0,1	0,11	0,15	0,14	0,15	0,14	0,12
6	10	-240	0,1	0,09	0,08	0,1	0,09	0,15	0,09	0,11	0,15	0,15	0,09	0,09	0,09	0,09	0,13
7	250	-300	0,16	0,13	0,15	0,12	0,13	0,13	0,12	0,15	0,11	0,13	0,15	0,13	0,12	0,1	0,14
8	260	10	0,09	0,11	0,1	0,11	0,1	0,11	0,1	0,12	0,08	0,07	0,12	0,11	0,1	0,13	0,11
9	250	300	0,12	0,1	0,11	0,12	0,13	0,12	0,11	0,16	0,13	0,09	0,11	0,12	0,09	0,1	0,09
10	260	490	0,1	0,09	0,11	0,12	0,09	0,08	0,09	0,11	0,08	0,09	0,12	0,09	0,11	0,1	0,08
11	10	500	0,11	0,13	0,12	0,1	0,13	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,13	0,11	0,12	0,09	0,11
12	-240	495	0,12	0,12	0,11	0,13	0,09	0,12	0,12	0,15	0,1	0,11	0,11	0,08	0,13	0,13	0,11
13	-480	480	0,08	0,09	0,09	0,1	0,11	0,08	0,07	0,09	0,12	0,1	0,09	0,13	0,08	0,09	0,12
14	-500	250	0,11	0,1	0,12	0,15	0,1	0,11	0,14	0,08	0,1	0,12	0,15	0,14	0,1	0,1	0,08
15	-500	0	0,1	0,14	0,12	0,13	0,14	0,14	0,09	0,09	0,11	0,15	0,06	0,15	0,14	0,12	0,15
16	-480	-265	0,12	0,06	0,09	0,14	0,12	0,09	0,05	0,08	0,13	0,12	0,07	0,16	0,06	0,14	0,06
17	-480	-500	0,11	0,12	0,1	0,11	0,11	0,11	0,12	0,15	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,16	0,08
18	-465	-500	0,11	0,11	0,12	0,1	0,12	0,12	0,13	0,12	0,1	0,11	0,14	0,11	0,14	0,13	0,1
19	10	-495	0,11	0,13	0,12	0,13	0,11	0,13	0,14	0,06	0,11	0,12	0,11	0,14	0,08	0,12	0,11
20	255	-500	0,11	0,14	0,13	0,12	0,12	0,14	0,11	0,08	0,14	0,1	0,1	0,11	0,07	0,09	0,14
21	485	-480	0,11	0,1	0,11	0,12	0,13	0,11	0,14	0,12	0,13	0,13	0,09	0,11	0,13	0,1	0,16
22	495	-495	0,1	0,11	0,12	0,13	0,1	0,12	0,16	0,12	0,11	0,14	0,12	0,14	0,12	0,16	0,09
23	490	12	0,12	0,11	0,13	0,1	0,09	0,13	0,14	0,11	0,15	0,11	0,11	0,12	0,13	0,12	0,15
24	495	255	0,15	0,13	0,14	0,09	0,08	0,14	0,15	0,1	0,12	0,11	0,11	0,09	0,09	0,14	0,08
25	500	490	0,14	0,13	0,13	0,15	0,15	0,12	0,09	0,1	0,14	0,12	0,08	0,13	0,14	0,15	0,12
Хмарність			3	1	1	2	3	3	2	2	3	2	3	2	1	1	1
Напрям вітру .			45	315	0	315	135	270	45	270	315	0	135	315	45	315	270
Швидкість вітру			5	4,4	4,7	4	4,3	6,4	5	4,3	6,3	7,7	4,1	6,1	5	3,7	3,1
Температура С			16	17	19	18	9	7	6	6	8	15	13	14	17	19	18
Вологість %			68	56	60	71	94	77	63	52	62	67	75	63	60	62	65

Таб. 1. Результати вимірювань за перші 15 днів

15.окт	16.окт	17.окт	18.окт	19.окт	20.окт	21.окт	22.окт	23.окт	24.окт	25.окт	26.окт	27.окт	28.окт	29.окт	30.окт	31.окт
0,11	0,11	0,12	0,13	0,11	0,1	0,09	0,1	0,09	0,12	0,1	0,12	0,13	0,13	0,09	0,13	0,08
0,12	0,12	0,11	0,09	0,1	0,12	0,09	0,11	0,1	0,09	0,12	0,09	0,11	0,12	0,09	0,09	0,09
0,09	0,09	0,1	0,13	0,12	0,09	0,12	0,09	0,09	0,13	0,08	0,12	0,09	0,09	0,08	0,12	0,13
0,14	0,13	0,12	0,15	0,11	0,13	0,15	0,13	0,12	0,11	0,15	0,13	0,16	0,13	0,15	0,13	0,14
0,12	0,11	0,12	0,11	0,14	0,09	0,08	0,12	0,13	0,11	0,14	0,1	0,12	0,08	0,09	0,08	0,11
0,13	0,12	0,15	0,09	0,09	0,11	0,1	0,12	0,09	0,12	0,11	0,09	0,09	0,11	0,11	0,09	0,09
0,14	0,07	0,06	0,11	0,1	0,12	0,11	0,08	0,07	0,14	0,11	0,11	0,11	0,08	0,07	0,11	0,14
0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,1	0,11	0,1	0,13	0,12	0,11	0,12	0,12	0,13	0,12	0,11
0,09	0,13	0,11	0,09	0,12	0,09	0,13	0,1	0,1	0,09	0,11	0,09	0,09	0,09	0,1	0,13	0,09
0,08	0,08	0,08	0,11	0,11	0,08	0,14	0,11	0,09	0,12	0,13	0,07	0,14	0,08	0,12	0,14	0,08
0,11	0,1	0,1	0,13	0,09	0,12	0,11	0,12	0,11	0,13	0,08	0,12	0,13	0,13	0,1	0,08	0,12
0,11	0,12	0,13	0,12	0,13	0,13	0,11	0,11	0,1	0,08	0,11	0,13	0,11	0,11	0,1	0,11	0,13
0,12	0,09	0,08	0,08	0,13	0,09	0,09	0,1	0,08	0,09	0,09	0,1	0,08	0,09	0,1	0,09	0,1
0,08	0,12	0,1	0,1	0,14	0,13	0,12	0,1	0,13	0,12	0,12	0,1	0,12	0,13	0,1	0,13	0,08
0,15	0,11	0,13	0,08	0,07	0,11	0,08	0,09	0,09	0,06	0,08	0,1	0,09	0,09	0,06	0,16	0,14
0,06	0,1	0,12	0,09	0,14	0,06	0,12	0,13	0,13	0,08	0,14	0,12	0,06	0,06	0,08	0,09	0,15
0,08	0,09	0,07	0,11	0,12	0,09	0,13	0,08	0,12	0,15	0,12	0,07	0,11	0,11	0,07	0,13	0,13
0,1	0,13	0,14	0,1	0,14	0,13	0,11	0,12	0,1	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14	0,12	0,14	0,09
0,11	0,12	0,13	0,11	0,08	0,1	0,09	0,1	0,08	0,12	0,11	0,09	0,13	0,12	0,13	0,12	0,11
0,14	0,11	0,1	0,07	0,1	0,11	0,12	0,11	0,07	0,07	0,12	0,07	0,11	0,07	0,12	0,11	0,13
0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,16	0,13	0,13	0,15	0,08	0,13	0,11	0,07	0,12
0,09	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	0,14	0,14	0,09	0,11	0,11	0,13	0,12	0,09	0,13	0,08	0,13
0,15	0,13	0,14	0,15	0,15	0,14	0,11	0,14	0,12	0,14	0,15	0,12	0,15	0,15	0,15	0,09	0,14
0,08	0,12	0,09	0,08	0,1	0,08	0,15	0,08	0,09	0,12	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,1	0,08
0,12	0,08	0,1	0,08	0,14	0,09	0,13	0,09	0,08	0,13	0,07	0,13	0,13	0,14	0,14	0,12	0,11
1	2	2	1	1	1	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3
270	0	45	135	90	45	315	0	270	225	90	0	270	0	270	225	225
3,1	6	3,4	6,4	2,1	2,7	2,9	6	3,2	3,4	2	2,4	4,9	6	3,7	6,9	-1
18	18	17	17	18	18	18	16	14	12	12	10	10	11	8	4	4,4
65	65	67	64	59	62	65	75	81	93	81	92	82	82	61	43	41

Табл. 2. Результати вимірювань за останні 16 днів

З даних таблиці 2: результати у більшості залежать від місця розташування контрольної точки. Мінімальний показник – 0,05 мкЗв/год (контрольні

точки № 16), максимальний – 0,16 мкЗв/год (контрольні точки № 4, 7, 9, 15);

РОЗДІЛ 3

Первинна обробка отриманих даних

За допомогою двохфакторного дисперсійного аналізу була проведена первинна обробка даних для визначення варіабельності отриманих даних при варіюванні двох визначальних факторів: 1) місцезнаходження точки вимірювання; 2) дати. Усі розрахунки проводилися маючи за основу експериментально отримані дані, представлені у табл. 1 .Застосовувався такий інструмент як «Двохфакторний дисперсійний аналіз без повторень» з пакету аналізу даних програм MS Excel-2010 (фірма Microsoft, 2010). Результати цього аналізу наведені в табл. 3.

Дисперсионный анализ						
Источник вариации	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-Значение*	*F критическое*
Строки	0,0364816	24	0,00152	3,47694	1,87355E-07	1,549829581
Столбцы	0,004238933	14	0,0003	0,69257	0,781764939	1,721297825
Погрешность	0,1468944	336	0,00044			
Итого	0,187614933	374				

Таблиця 3 – Результати застосування двохфакторного дисперсійного аналізу для визначення залежності рівня радіації від різних факторів

Дані таблиці 3 свідчить про те, що головний вплив на варіабельність отриманих даних мало місце проведення вимірювань – положення контрольної точки (21,05 %). Варіабельність результатів зі зміною дати проведення вимірювань незначна (2,1 %) та не є достовірною, бо значущість впливу за Фішером становила $p < 1,87$ при необхідній $p < 0,05$, оскільки $F_{факт} = 0.7 < F_{крит} = 1,72$. Проте загальний вплив інших випадкових факторів складав 78,9 %.

Побудова поля радіаційного фону на місцевості – одне з найважливіших завдань радіаційного моніторингу. Існує підхід, який заснований на побудові регресійних моделей для поля радіації у вигляді поліномів різних

ступенів за значеннями поточних координат довільної точки всередині зони спостережень [6 , 7 , 8 , 9 , 10]. 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 в основному 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 даного класу моделей є суттєве завищення значень радіаційного фону далеко від центру контрольованої зони, бо регресія будується за координатами в різних ступенях та їх добутками. Більше значення координат – вища помилка моделі.

З даних таблиць 2 та 1: результати у більшості залежать від місця розташування контрольної точки. Мінімальний показник – 0,05 мкЗв/год (контрольні точки № 16), максимальний – 0,16 мкЗв/год (контрольні точки № 4, 7, 9, 15);

Тепер перейдемо до побудова поля радіаційного фону на місцевості. Це – одне з найважливіших завдань радіаційного моніторингу. Виникає питання, як на підставі вимірювань, які були проведені в певній кількості розпорошених точок, відновити цілісну картину розподілу радіації на всій площі контрольованої території (рис. 1). Існує підхід, якій заснований на побудові регресійних моделей для поля радіації у вигляді поліномів різних ступенів за значеннями поточних координат довільної точки всередині зони спостережень [4–7]. 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 даного класу моделей є суттєве завищення значень радіаційного фону далеко від центру контрольованої зони. Це пов'язано з тим, що регресія будується за координатами в різних ступенях та їх добутками. Тому, чим більше значення координат (відлік яких ведеться від центру зони) – тим більше помилка моделі.

Також існує модель [8], в якій регресія будується не за двома координатами точки М (х, у) всередині контрольованої зони, а за однією – відстанню від цієї точки до найближчої до неї і-ої контрольної точки спостережень, яка лежить на деякій ламаній лінії, що послідовно з'єднує усі точки спостережень (від центральної до найдальшої зовнішньої). Перевагою цієї моделі є те, що завищення рівня радіації біля границі і за межами зони спостережень відсутнє, оскільки запропонований алгоритм прив'язує значення потужності дози випромінювання в довільній точці зони до виміряного значення в найближчій точці спостереження.

Але застосування даного алгоритму для обробки отриманих даних ускладнено тим, що залежність потужності дози від відстані уздовж ламаної, яка послідовно з’єднує усі точки вимірювань від 1-ї до 18-ї, не є монотонною, а має нерівномірний характер. Побудова рівняння регресії за цими даними є дуже складним завданням.

В роботах [9, 10] 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.

Наприклад, на підставі даних від 14 жовтня 2019 р. можна одержати наступну таблицю 4 щодо відсортованих точок та їх положення уздовж ламаної.

№ точки	Доза	Δl	l	№ на ламаній
6	0,07	0	0	1
11	0,08	407	407	2
13	0,09	463	870	3
14	0,10	260	1130	4
7	0,10	275	1405	5
9	0,11	242	1647	6
10	0,11	700	2347	7
20	0,12	1049	3396	8
21	0,12	394	3790	9
1	0,12	143	3933	10
3	0,12	320	4253	11
15	0,13	801	5054	12
19	0,14	165	5219	13
22	0,14	560	5779	14
8	0,15	732	6512	15
12	0,16	474	6986	16
18	0,16	867	7853	17
5	0,17	969	8821	18
16	0,18	762	9583	19
24	0,19	824	10407	20

Таблиця 4.

Тут усі точки відсортовані за зростанням потужності дози від 0,09 до 0,16 мкЗв/год. Δl позначає відстань між двома сусідніми точками на ламаній; l позначаю відстань від початкової точки (у нашому випадку це точка 1) до наступної вздовж ламаної.

На рисунку 3 показана типова ламана за даними спостережень від 14 жовтня 2019 р.

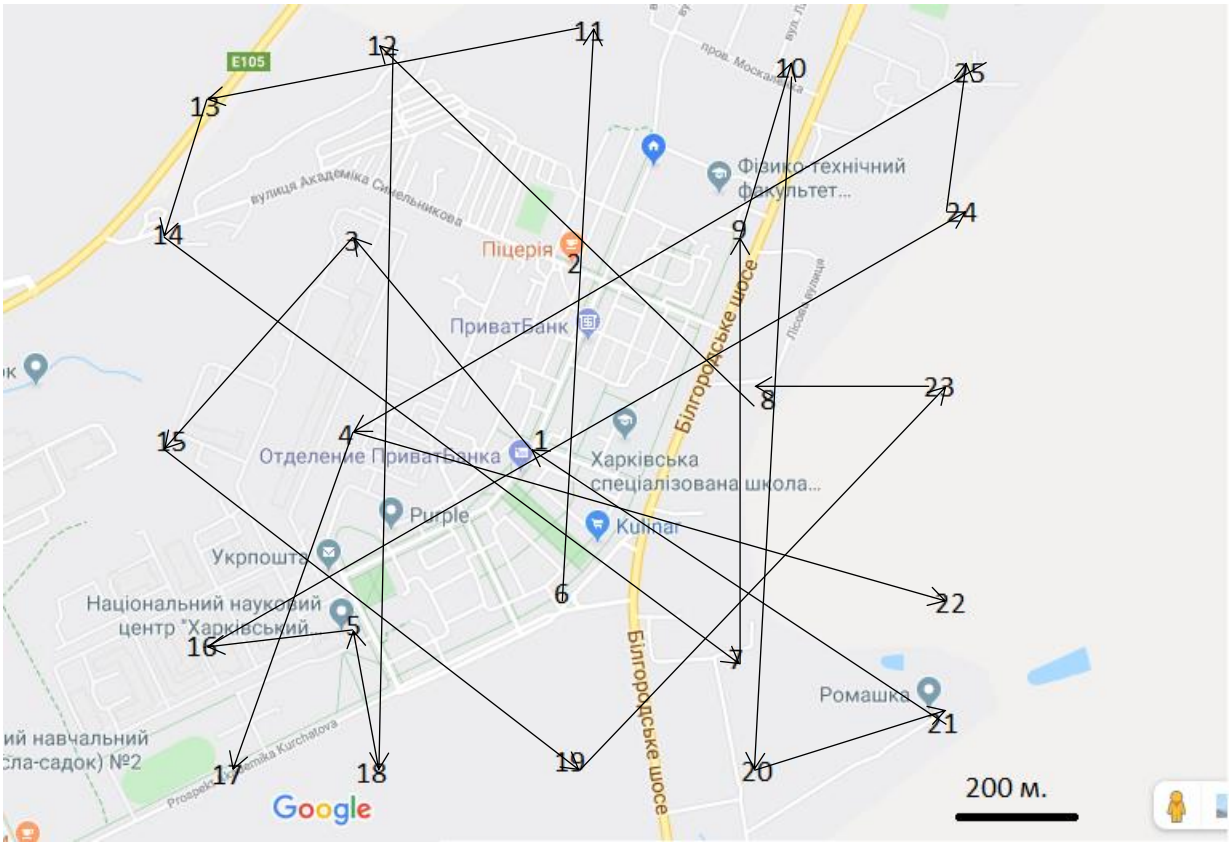


Рис. 2. Схема побудови ламаної за зростанням потужності дози від -ї точки до 9-ї (за даними від 14.10.2019)

Як можна бачити з цього рисунку, дана ламана щільним «павутинням» накриває всю контрольовану зону. Загальна довжина ламаної на рисунку 3 за даними таблиці 4 наближається до 11 км.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ ТА ПОБУДОВА РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ

Далі за допомогою програми «Maple-12» (фірми Maplesoft, 2012) будувалися рівняння регресії для потужності дози d у вигляді поліномів 6-го ступеня за l для кожної доби спостережень (приклад наведено в Додатку). Для прикладу від 14.10.19 цей поліном мав наступний вигляд:

$$d := 1.03237922110^{-23}\, l^6 - 2.61531987910^{-19}\, l^5 + 2.36709452510^{-15}\, l^4 - 8.75045028810^{-12}\, l^3 + 8.70683236910^{-9}\, l^2 + 0.00002279612320l + 0.06985189660$$

Передбачення цієї регресії щодо залежності потужності d дози від l наведені на рисунку 4 (з прикладу до Додатку)

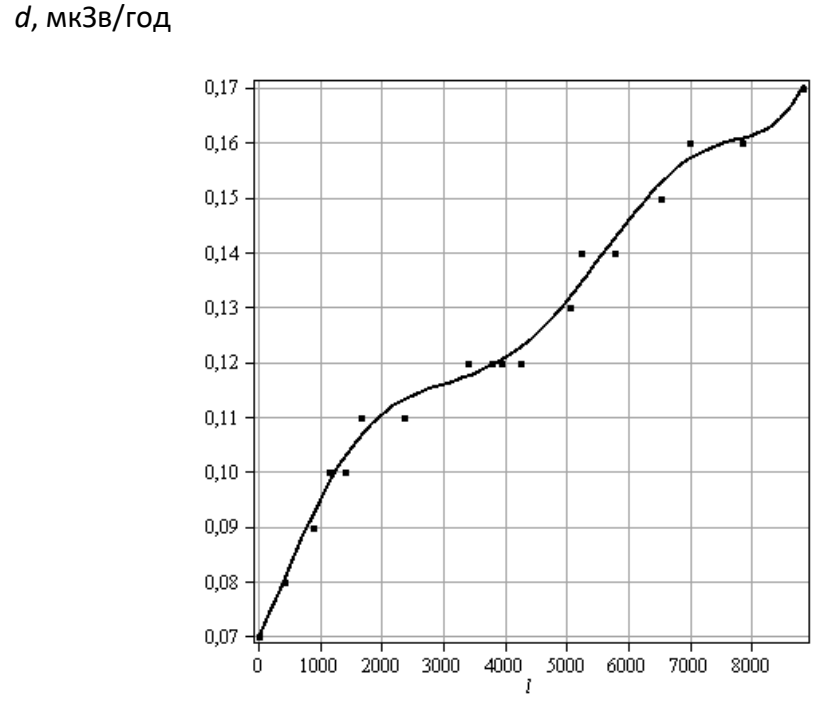


Рис. 3. Залежність потужності дози від відстані *l* (в м) уздовж ламаної

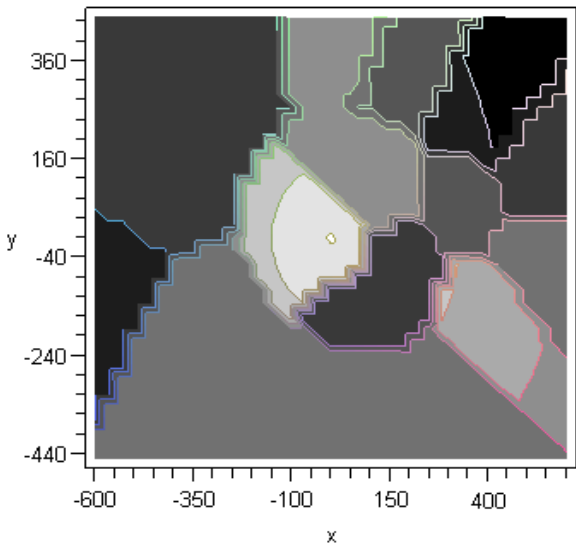
Цей рисунок свідчить про те, що поліноміальна залежність добре описує поведінку потужності дози уздовж ламаної на рисунку 3.

Алгоритм побудови поля радіаційного фону, як всередині контрольованої зони, так і біля її меж, виглядає наступним чином. Розглянемо довільну точку $M(x,y)$ з координатами x і y, в якій вимірювання не проводилися. За допомогою спеціальної програми, яка наведена в Додатку, визначалася відстані від цієї точки до найближчої до неї контрольної точки K. Для включення точки M до нашої ламаної також визначалася відстань від неї до попередньої до точки K K–1-й точці на ламаній. Цю відстань позначимо як $\Delta l_{K\text{-}1,M}$. Положення точки $M(x,y)$ на ламаній будемо характеризувати довжиною $l_M = l_{K\text{-}1} + \Delta l_{K\text{-}1,M}$. Тоді у випадку, якщо точка M співпадає з точкою K, маємо правильне значення: $l_M = l_{K\text{-}1} + \Delta l_{K\text{-}1,\,K} = l_K$. Значення потужності дози у точці M будемо описувати за допомогою одержаного раніше рівняння регресії $d(l)$ з підстановкою значення $l_M = l_{K\text{-}1} + \Delta l_{K\text{-}1,M}$. Якщо точка $M(x,y)$ – довільна, то маємо карту радіаційного фону.

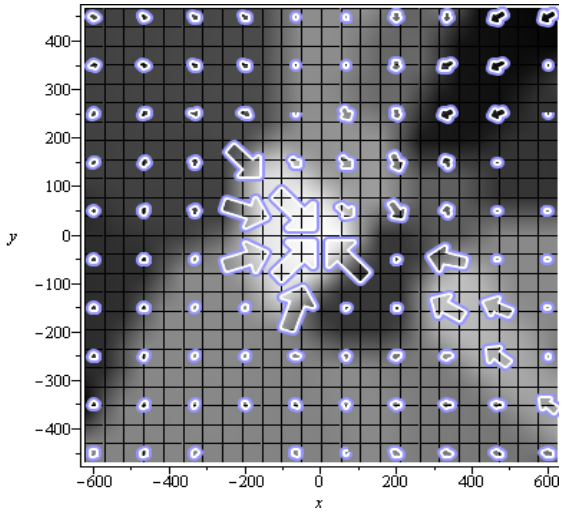
Таким чином були побудовані усі карти радіаційного фону для кожного дня спостережень. Для візуалізації результатів була застосована також програма «Maple-12». Програму побудови карт радіаційного фону з поясненнями наведено також в Додатку.

Результати та їх обговорення. Побудовані згідно алгоритму [8, 9] карти радіаційного забруднення контрольованої зони для усіх дат спостережень наведені на рисунках 5 – 36. Для кожної дати наведено дві карти, що були одержані за різними програмами: карта а) одержана за допомогою програми "*Contourplot3d*" – на ній зображені області контрольованої зони різного відтінку сірого («контури»), які відповідають різним значенням потужності радіаційного фону; карта б) побудована незалежно за допомогою програм "*Densityplot*", яка теж відображає розподіл радіаційного фону у вигляді щільності різного відтінку сірого

кольору та програми “*Gradplot*”, яка відображає градієнт радіаційного фону у вигляді стрілок різної довжини та напрямку, які відповідають різній швидкості та напрямку розповсюдження радіації.

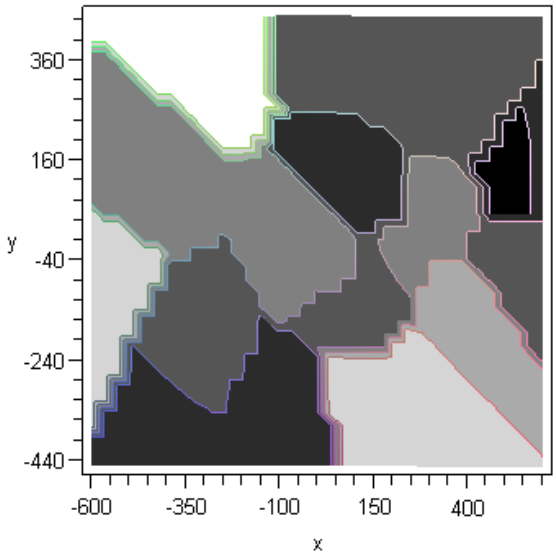


а) білий колір – 0,06 мкЗв/год, чорний – 0,14 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

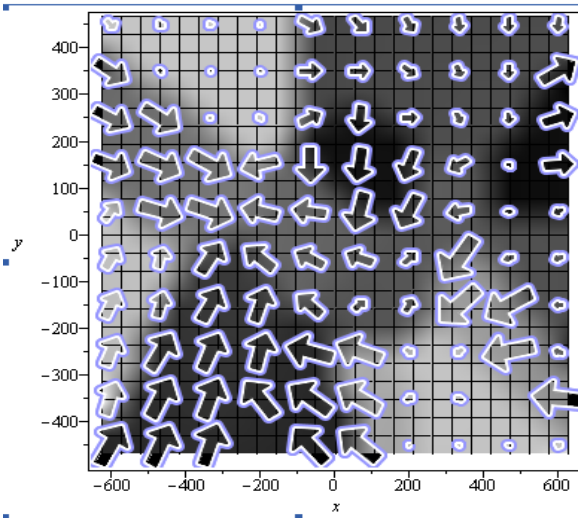


б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.4. Радіаційний фон станом на 1 жовтня 2019 року

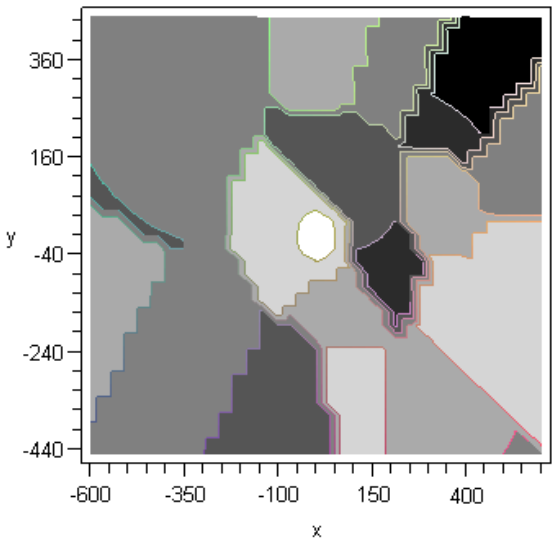


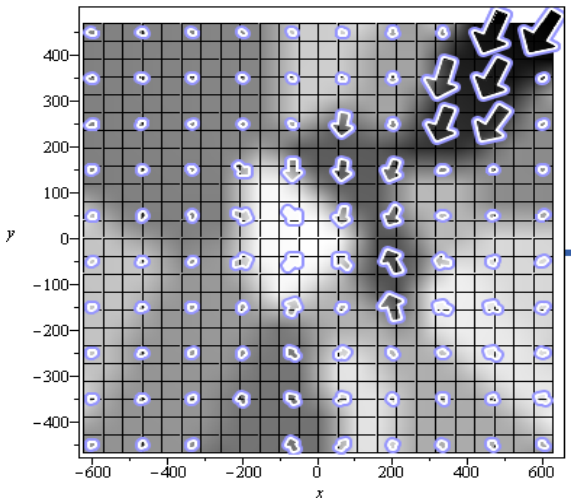
а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,14 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном



б) градієнт поля радіаційного фону

Рис. 5. Радіаційний фон станом на 2 жовтня 2019 року

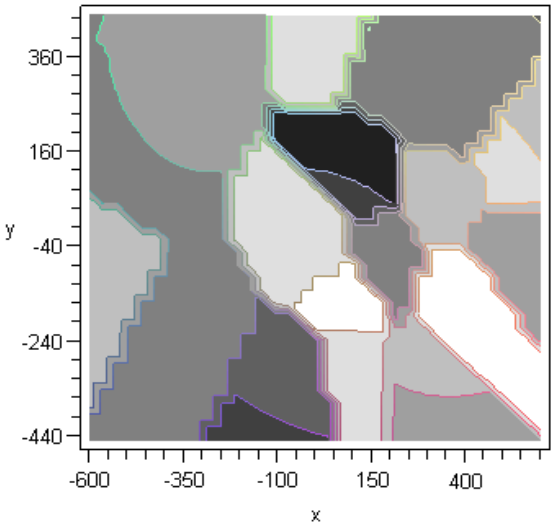


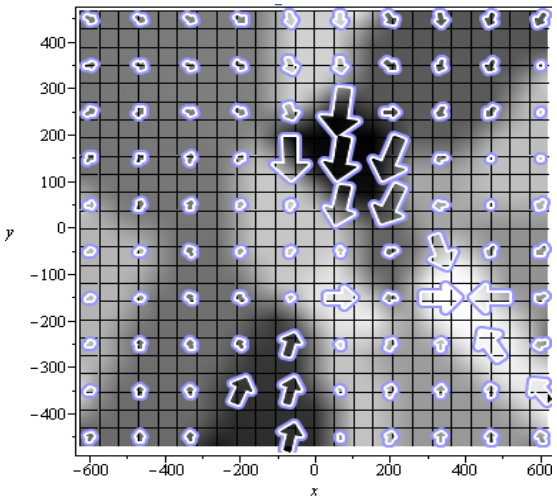


а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,14 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис. 6. Радіаційний фон станом на 3 жовтня 2019 року

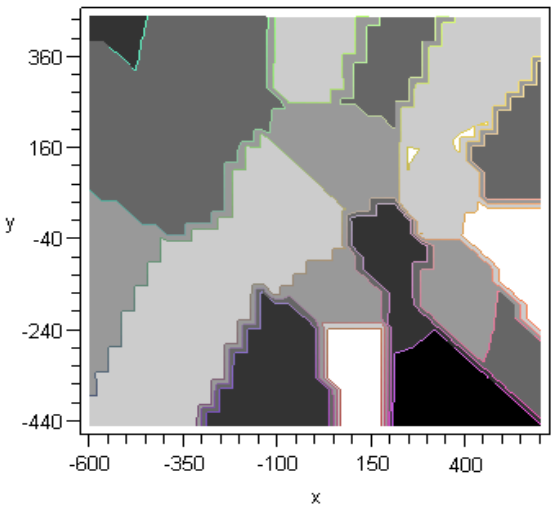


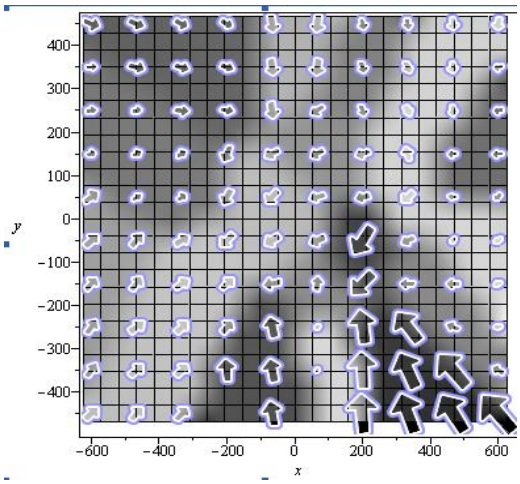


а) білий колір – 0,08 мкЗв/год, чорний – 0,15 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис. 7. Радіаційний фон станом на 4 жовтня 2019 року

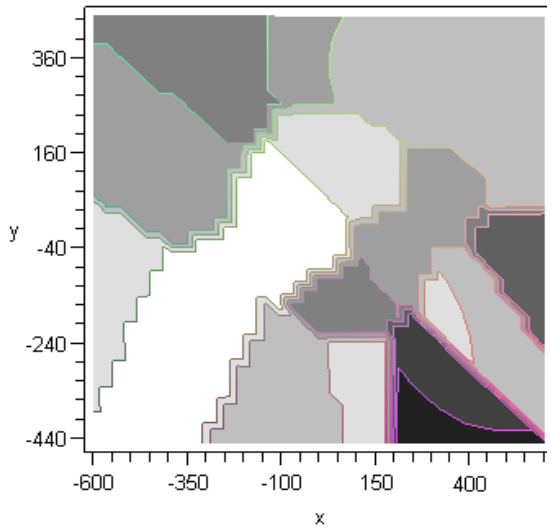


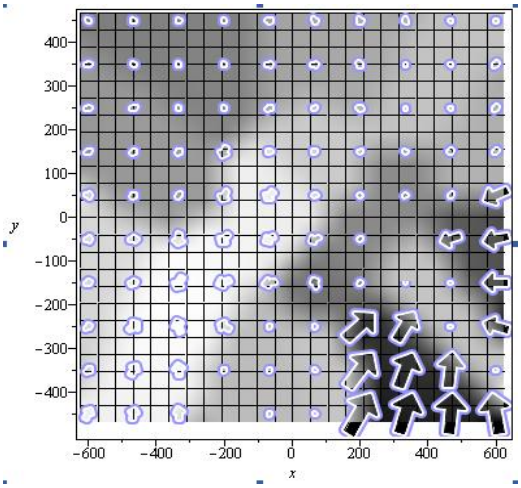


а) білий колір – 0,10 мкЗв/год, чорний – 0,14 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис. 8. Радіаційний фон станом на 5 жовтня 2019 року

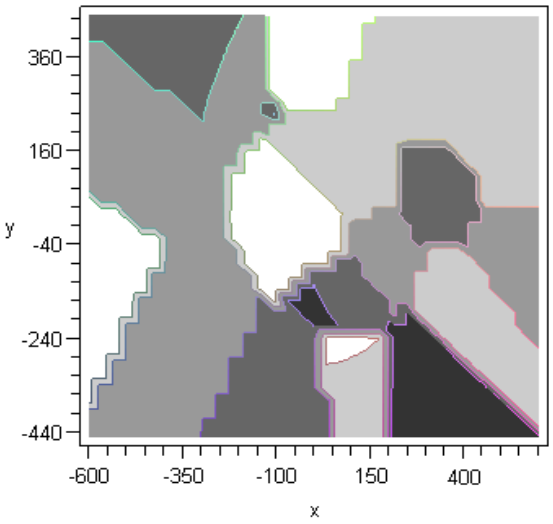


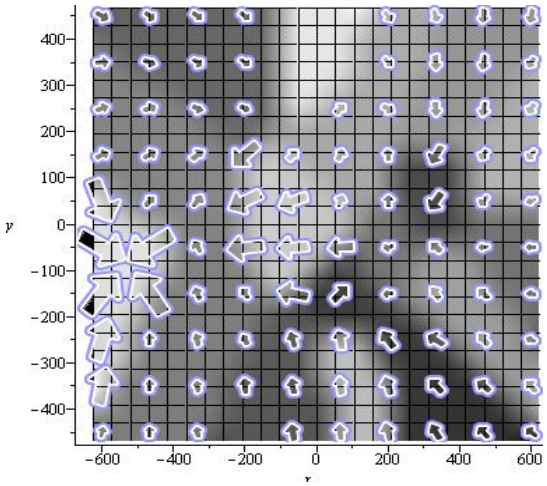


а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,16 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.9. Радіаційний фон станом на 6 жовтня 2019 р.

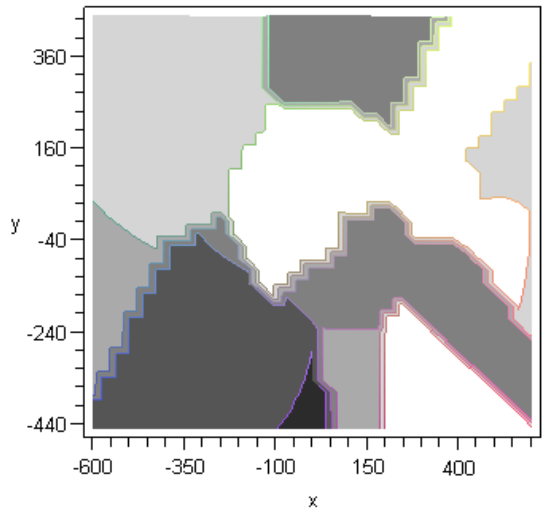


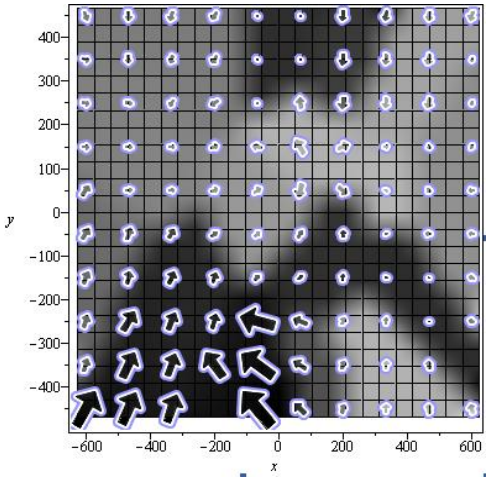


а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,13 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.10. Радіаційний фон станом на 7 жовтня 2019 р.

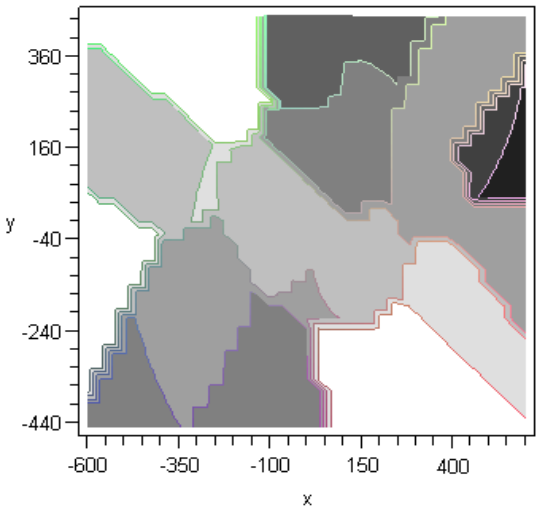


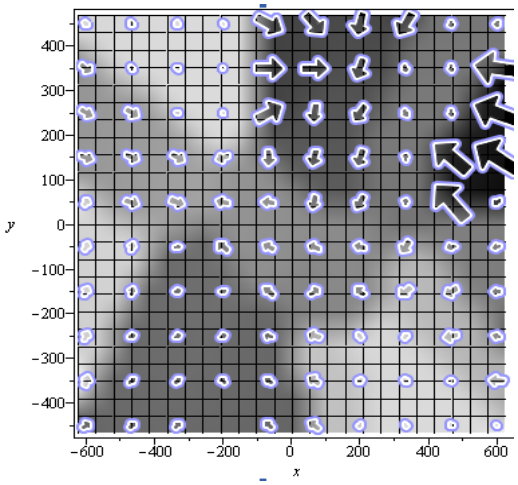


а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,14 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.11. Радіаційний фон станом на 8 жовтня 2019 р.

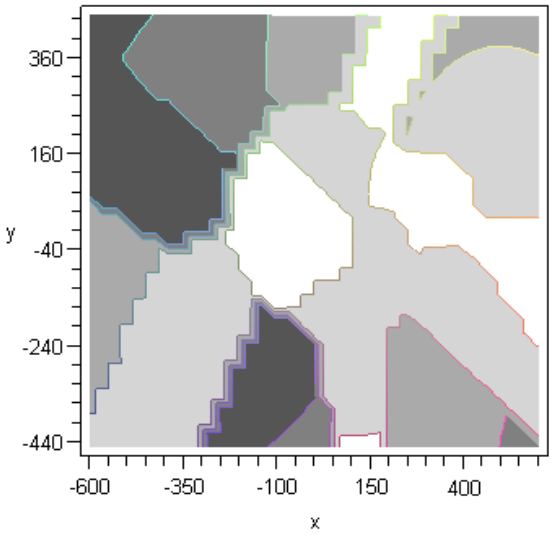


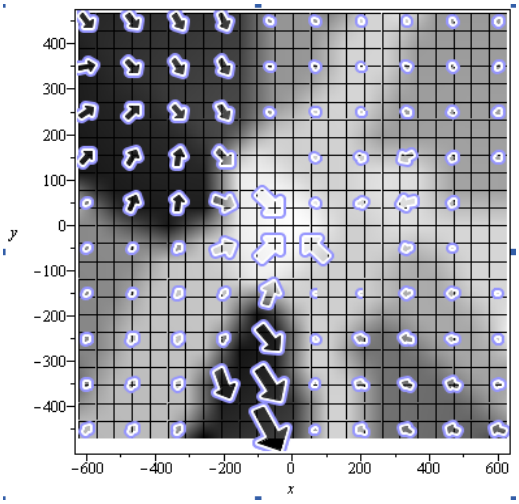


а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,16 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.12. Радіаційний фон станом на 9 жовтня 2019 р.

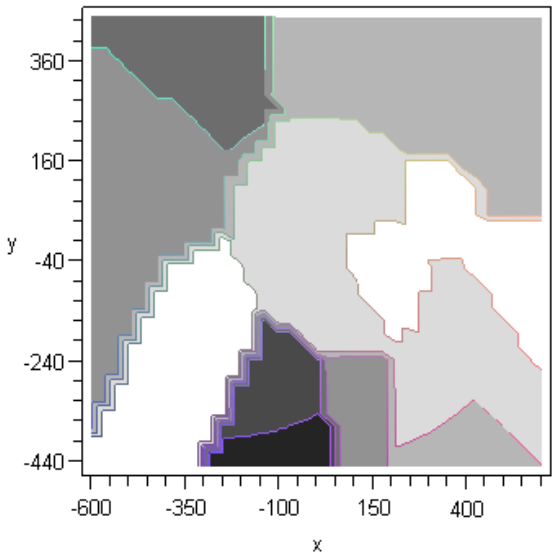


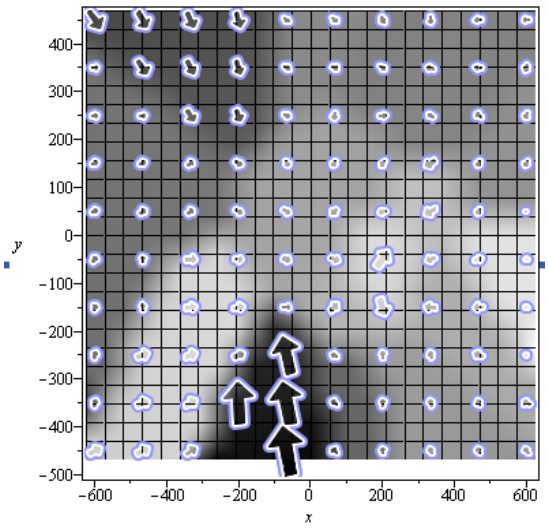


а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,14 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.13. Радіаційний фон станом на 10 жовтня 2019 р.

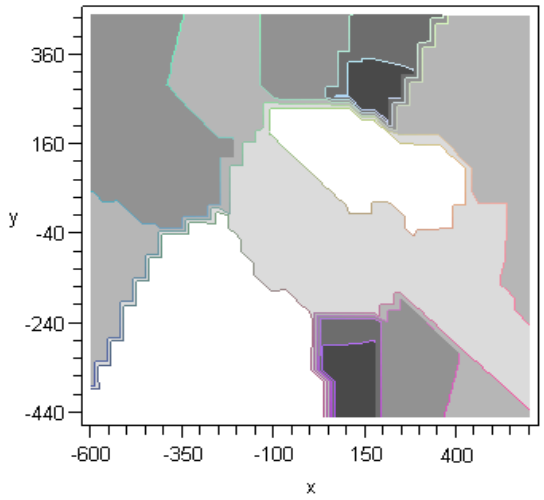


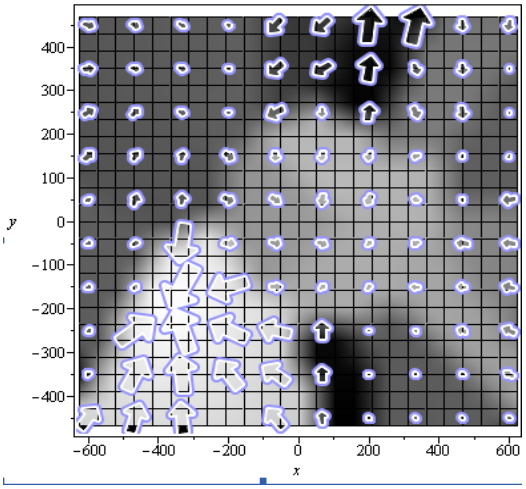


а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,15 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.14. Радіаційний фон станом на 11 жовтня 2019 р.

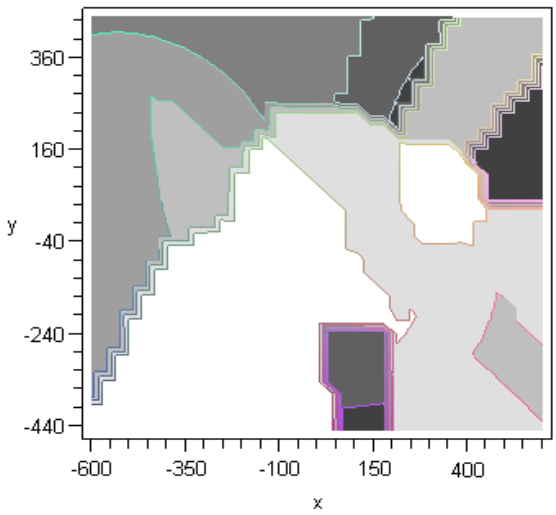


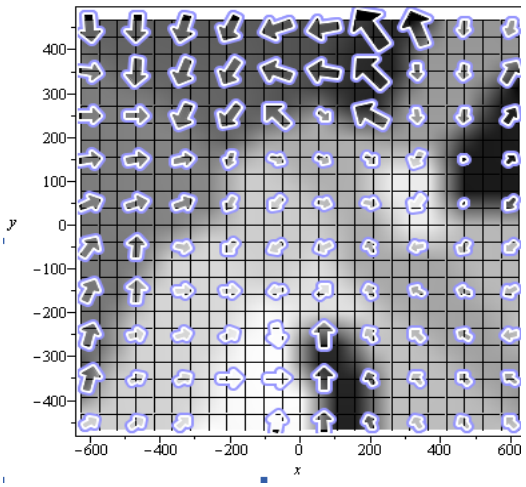


а) білий колір – 0,08 мкЗв/год, чорний – 0,14 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.15. Радіаційний фон станом на 12 жовтня 2019 р.

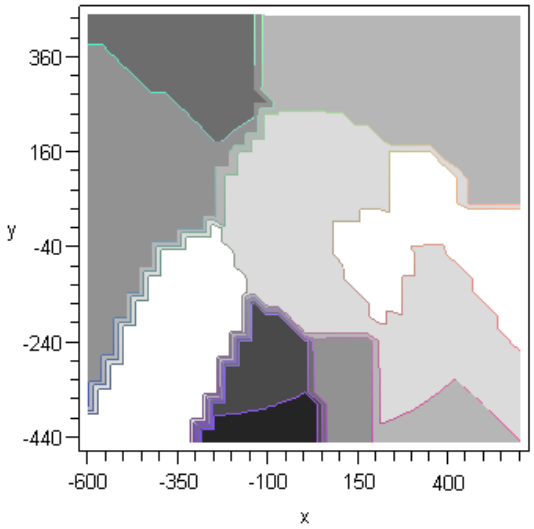


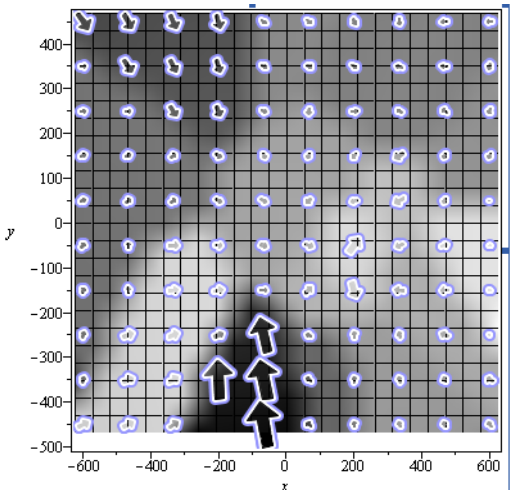


а) білий колір – 0,08 мкЗв/год, чорний – 0,15 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.16. Радіаційний фон станом на 13 жовтня 2019 р.

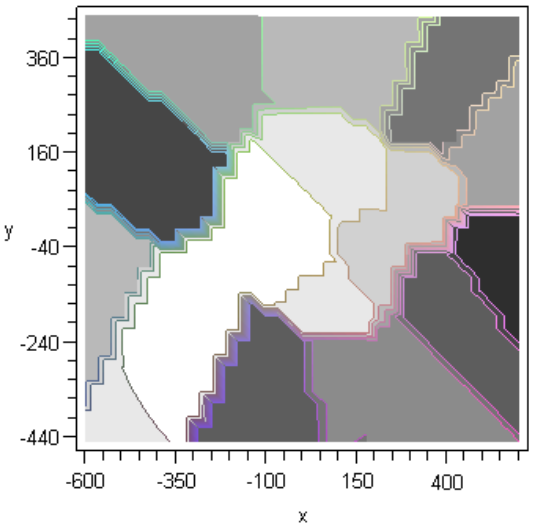


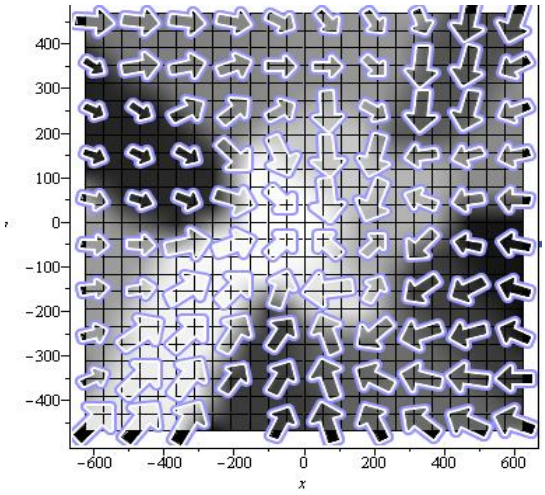


а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,15 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.17. Радіаційний фон станом на 14 жовтня 2019 р.

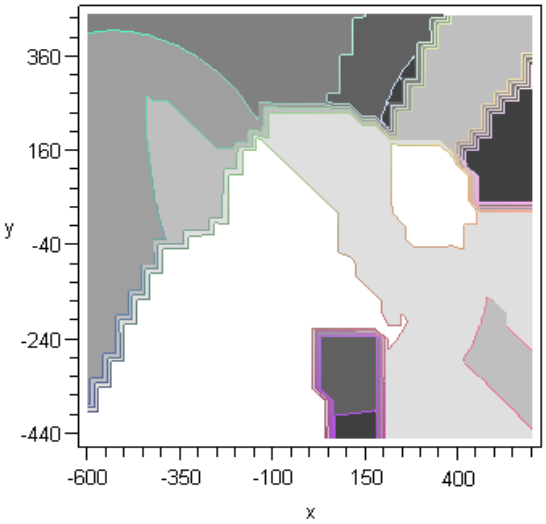


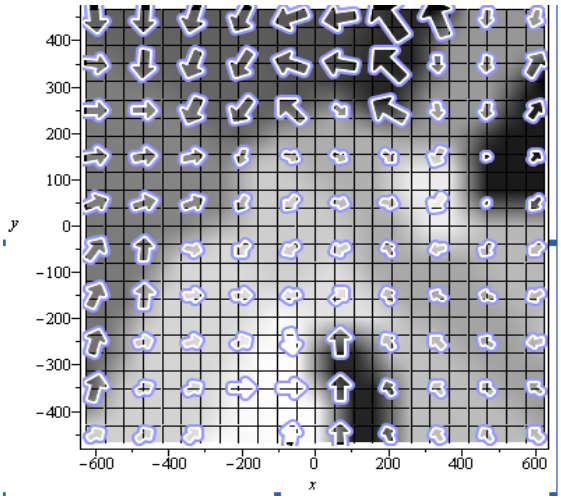


а) білий колір – 0,07 мкЗв/год, чорний – 0,17 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.18. Радіаційний фон станом на 15 жовтня 2019 р.

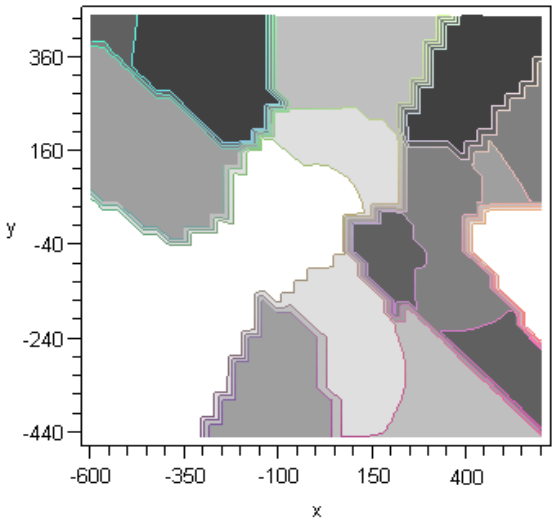


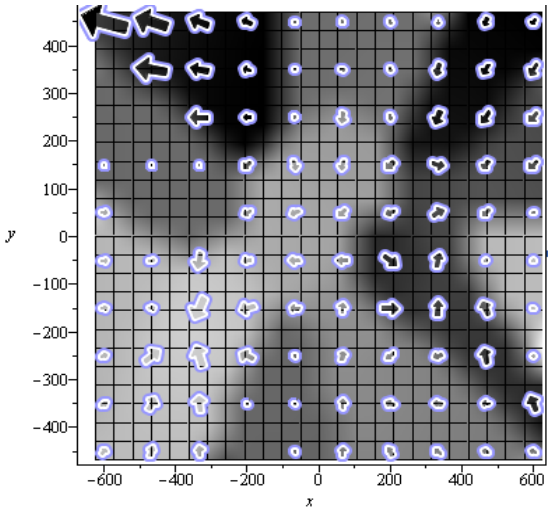


а) білий колір – 0,08 мкЗв/год, чорний – 0,15 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.19. Радіаційний фон станом на 16 жовтня 2019 р.

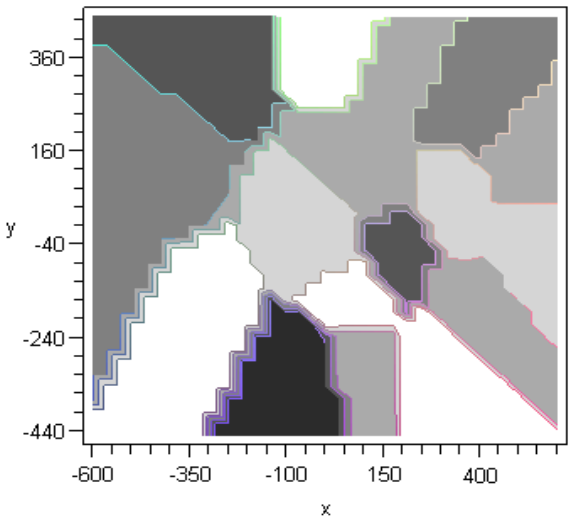


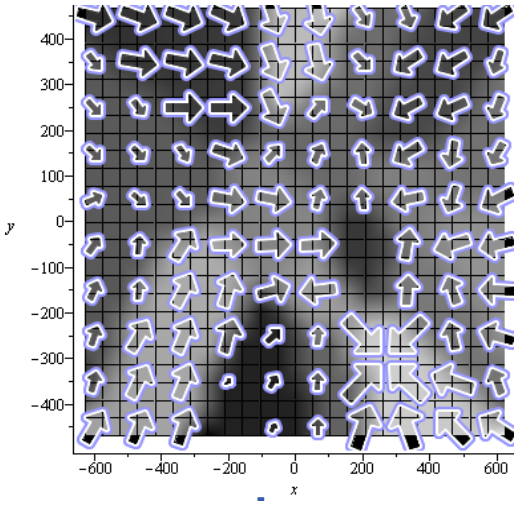


а) білий колір – 0,08 мкЗв/год, чорний – 0,15 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.20. Радіаційний фон станом на 17 жовтня 2019 р.

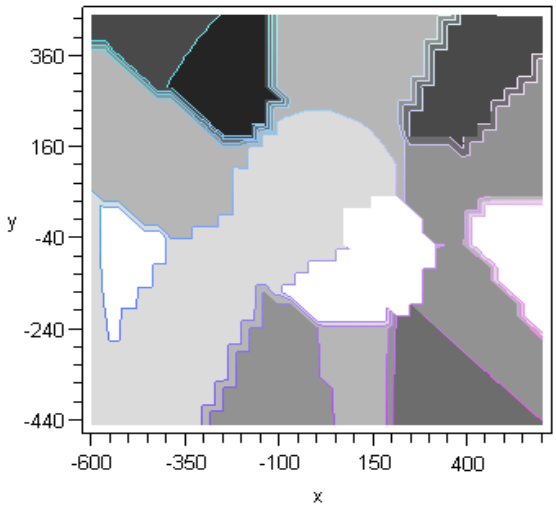


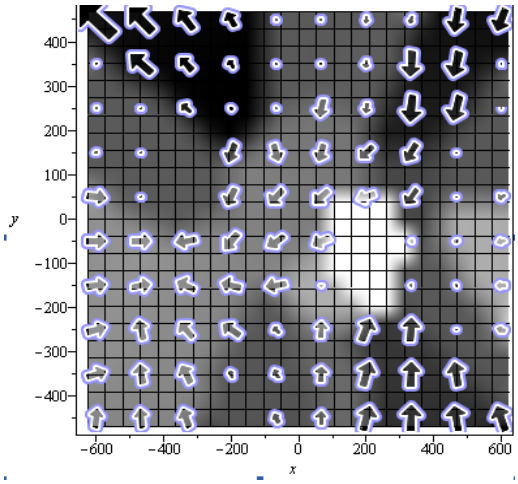


а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,14 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.21. Радіаційний фон станом на 18 жовтня 2019 р.

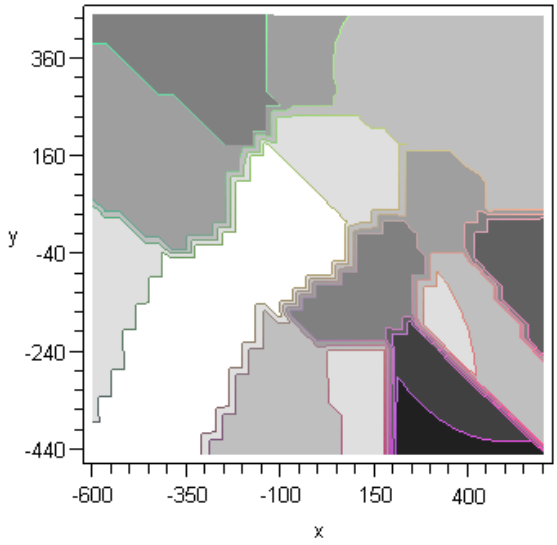


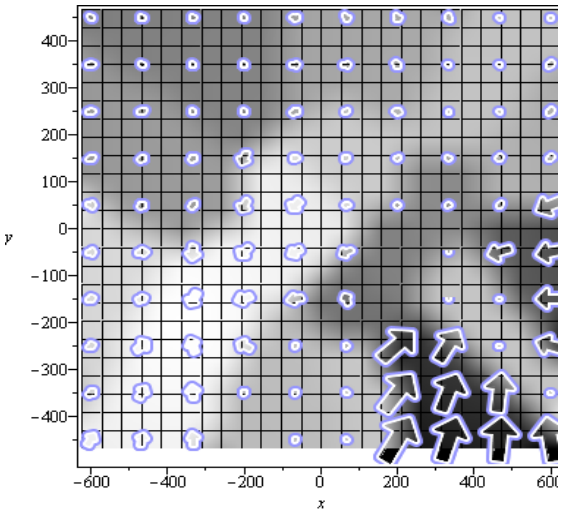


а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,15 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.22. Радіаційний фон станом на 19 жовтня 2019 р.

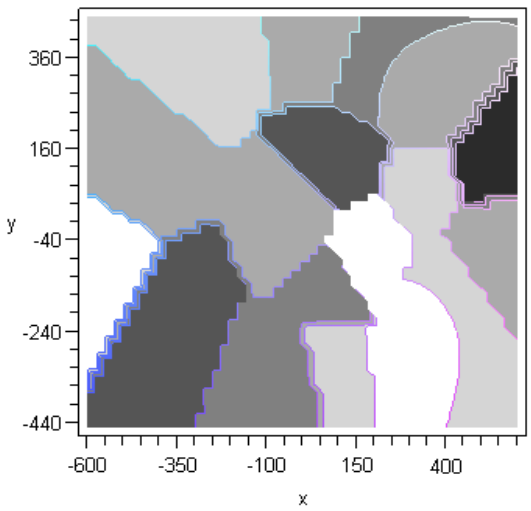


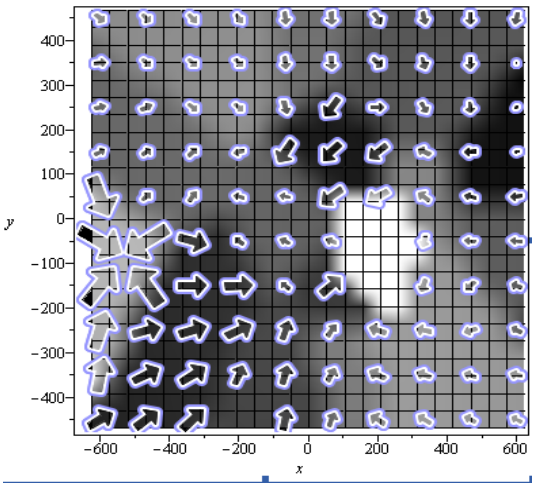


а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,16 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.23. Радіаційний фон станом на 20 жовтня квітня 2019 р.

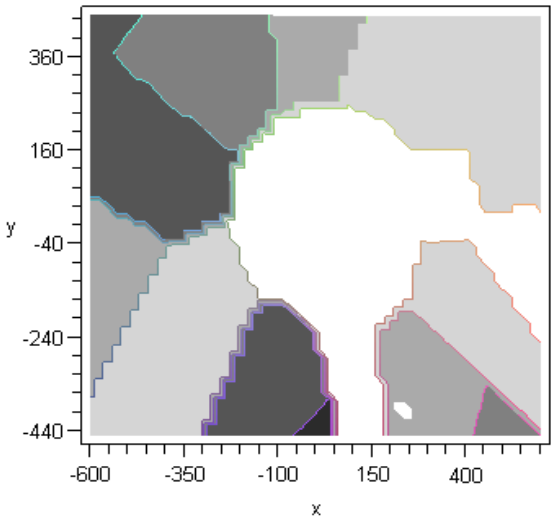


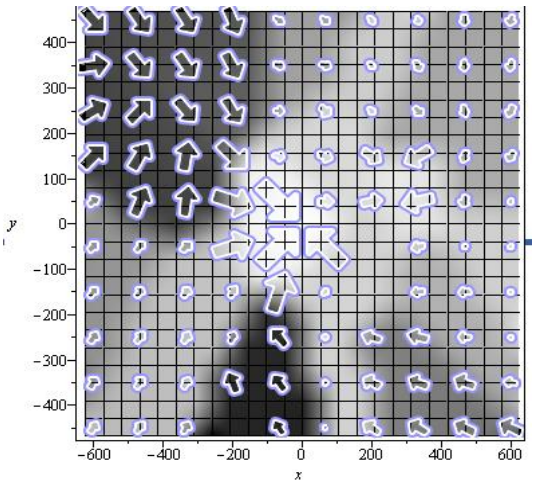


а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,14 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.24. Радіаційний фон станом на 21 жовтня 2019 р.

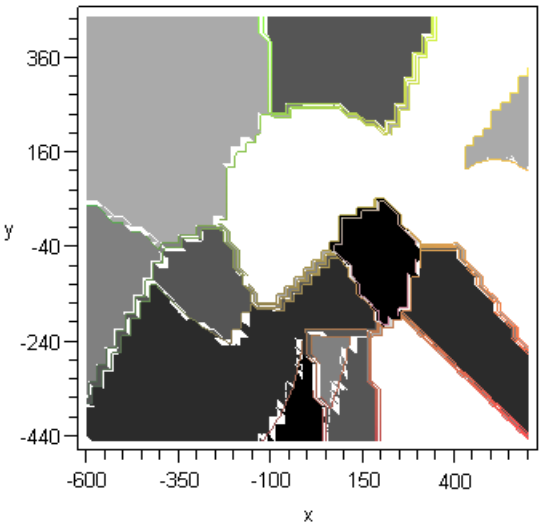


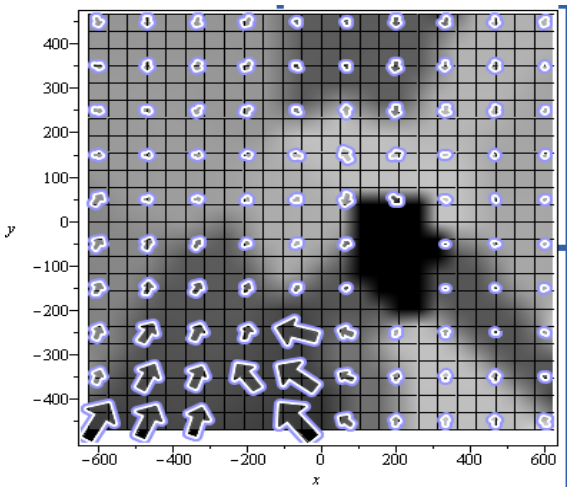


а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,14 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.25. Радіаційний фон станом на 22 жовтня 2019 р.

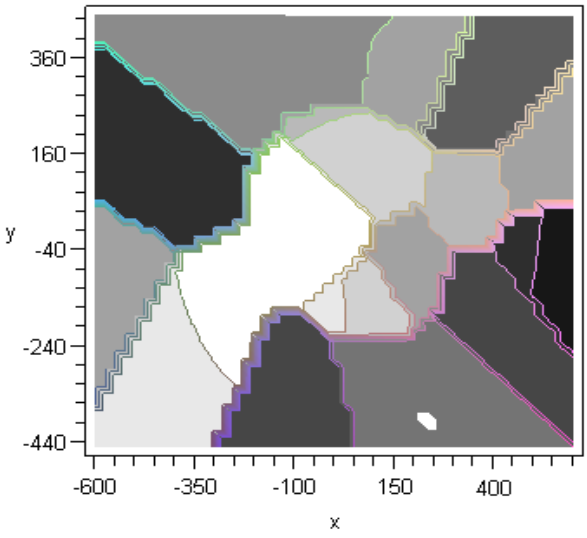


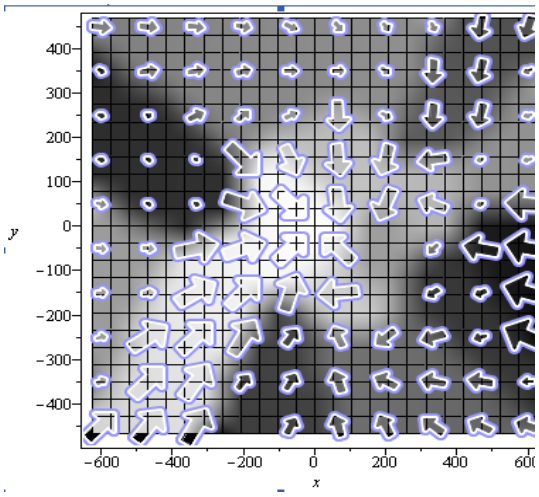


а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,14 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.26. Радіаційний фон станом на 23 жовтня 2019 р.

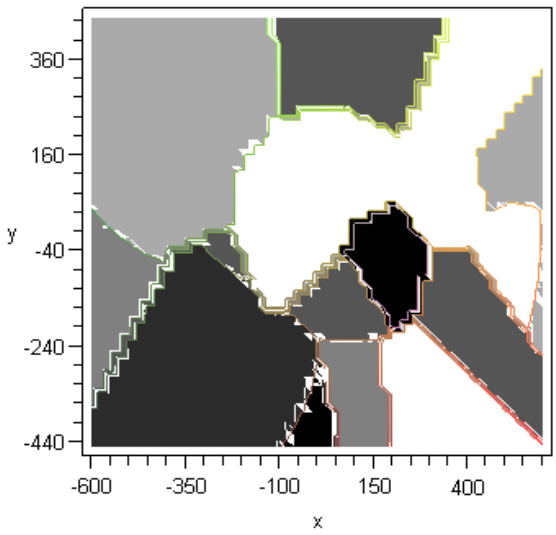


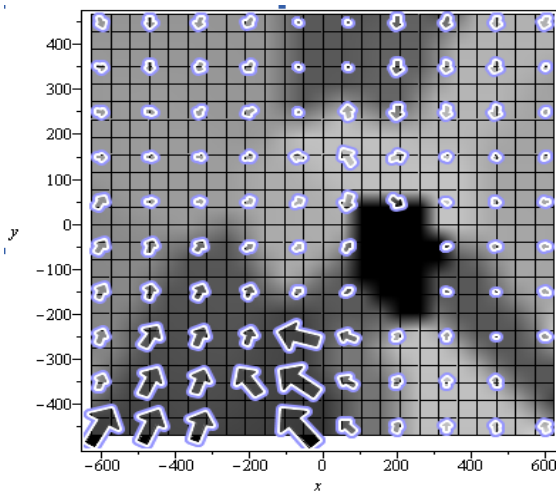


а) білий колір – 0,07 мкЗв/год, чорний – 0,17 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.27. Радіаційний фон станом на 24 жовтня 2019 р.

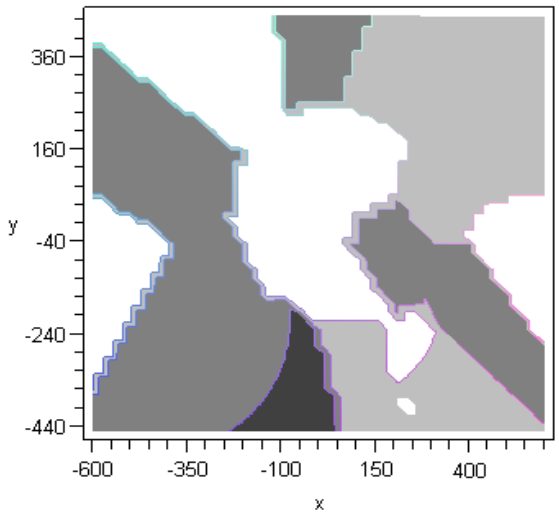


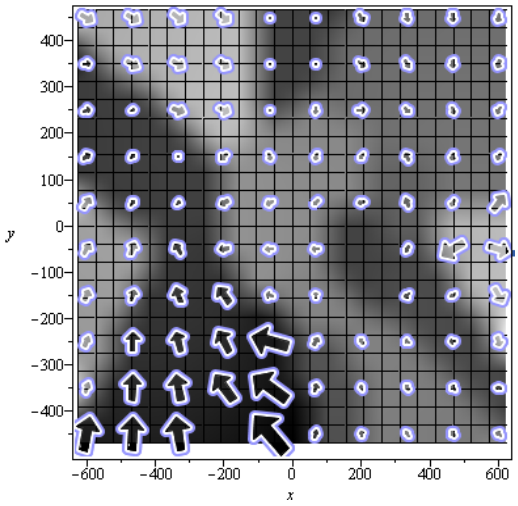


а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,14 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.28. Радіаційний фон станом на 25 жовтня 2019 р.

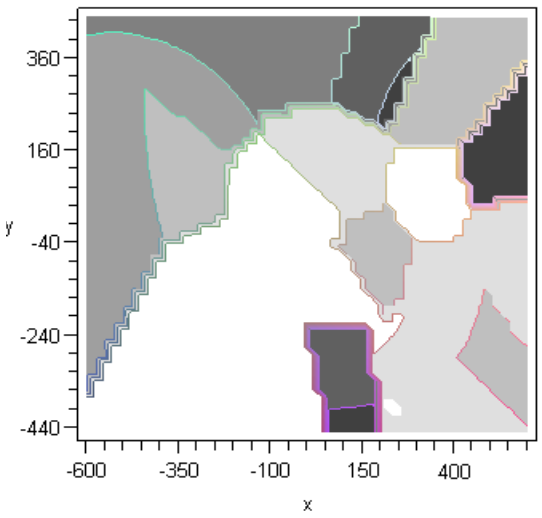


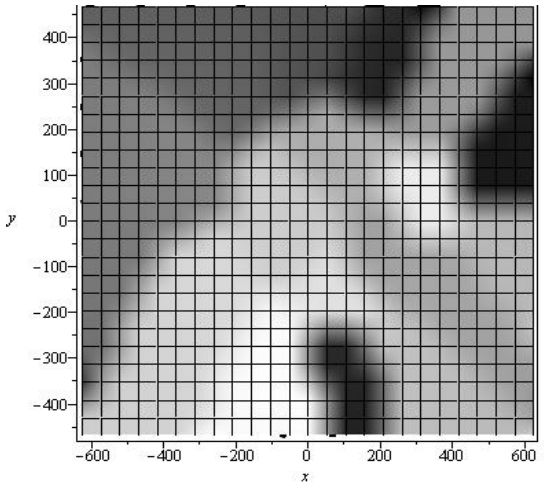


а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,12 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.29. Радіаційний фон станом на 26 жовтня 2019 р.

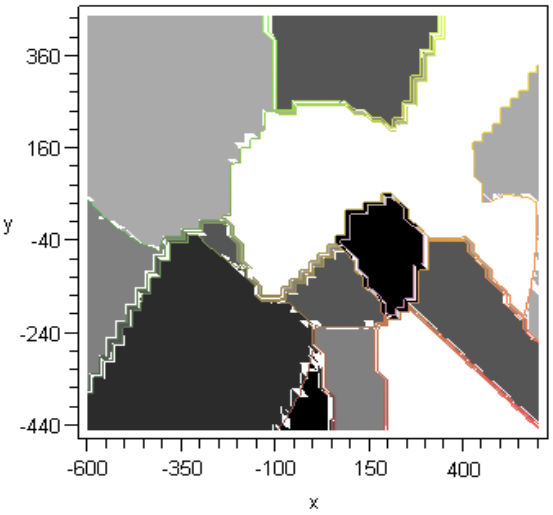


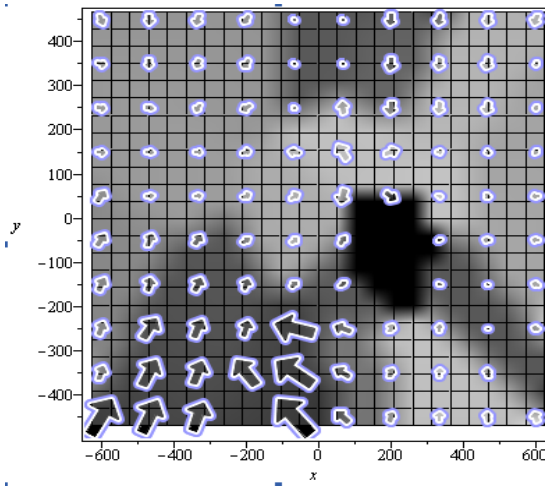


а) білий колір – 0,08 мкЗв/год, чорний – 0,15 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.30. Радіаційний фон станом на 27 жовтня 2019 р.

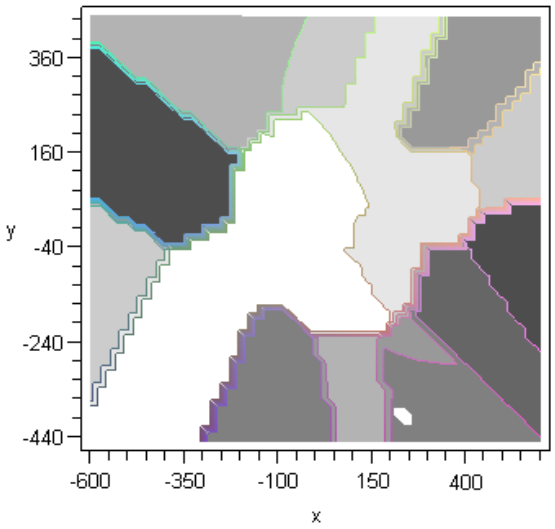


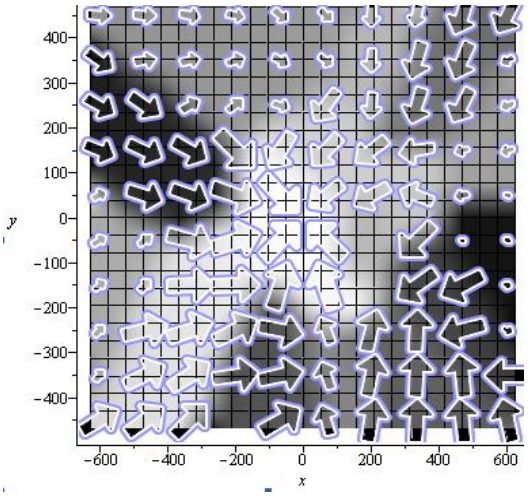


а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,14 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.31. Радіаційний фон станом на 28 жовтня 2019 р.

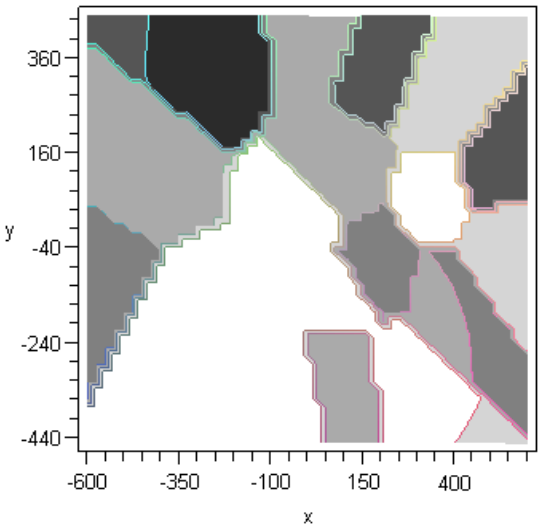


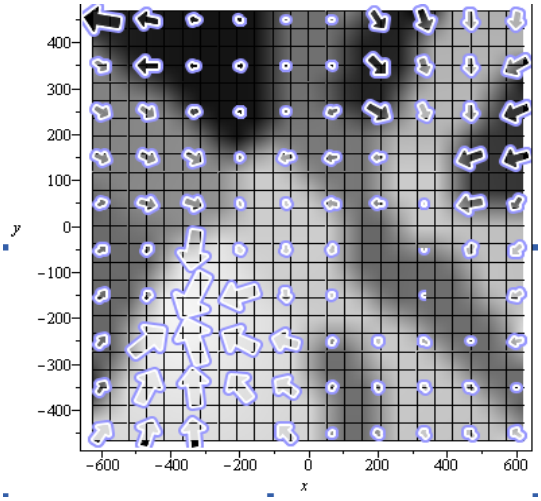


а) білий колір – 0,08 мкЗв/год, чорний – 0,17 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.32. Радіаційний фон станом на 29 жовтня 2019 р.

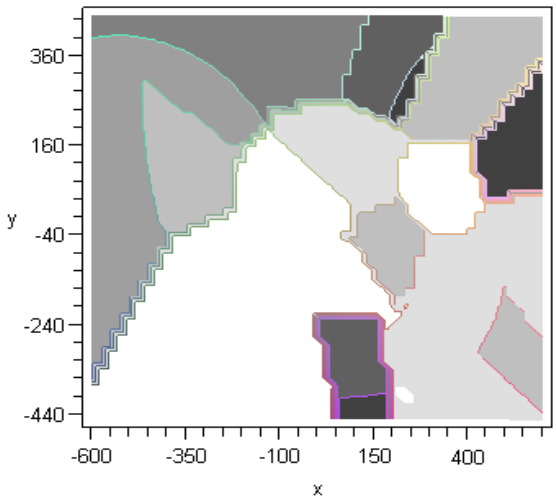




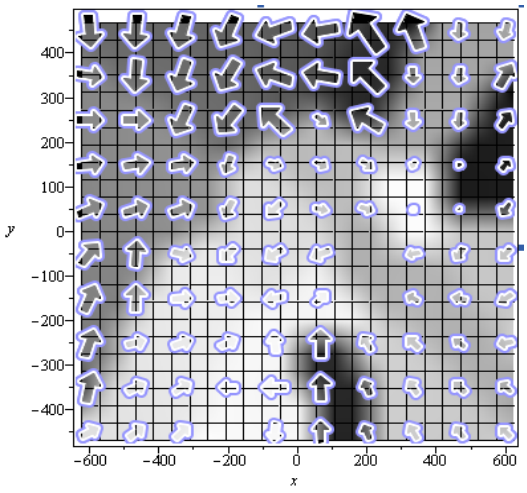
а) білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,14 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.33. Радіаційний фон станом на 30 жовтня 2019 р.



а) білий колір – 0,08 мкЗв/год, чорний – 0,15 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном



б) градієнт поля радіаційного фону

Рис.34. Радіаційний фон станом на 31 жовтня 2019 р.

Ці рисунки свідчать про те, що значення амбієнтного еквіваленту потужності дози неперервного рентгенівського і гамма-випромінювання за весь період спостережень не перевищували значення 17 мкЗв/год, тобто були практично в три рази нижче норми. Помітних закономірностей і тривалих тенденцій зміни радіаційного фону виявлено не було, що відповідає результатам проведеного дисперсійного аналізу даних (табл. 2). Рисунки 5 – 36 також свідчать про те, що формування поля радіаційного фону відбувається під дією випадкових, неконтрольованих чинників.

Надалі за даними таблиці 1 була також розрахована залежність середньої потужності дози радіаційного фону від метеоумов під час проведення вимірювань. На рисунку 37 наведена залежність середнього значення (за усіма контрольними точками) потужності дози від швидкості вітру.

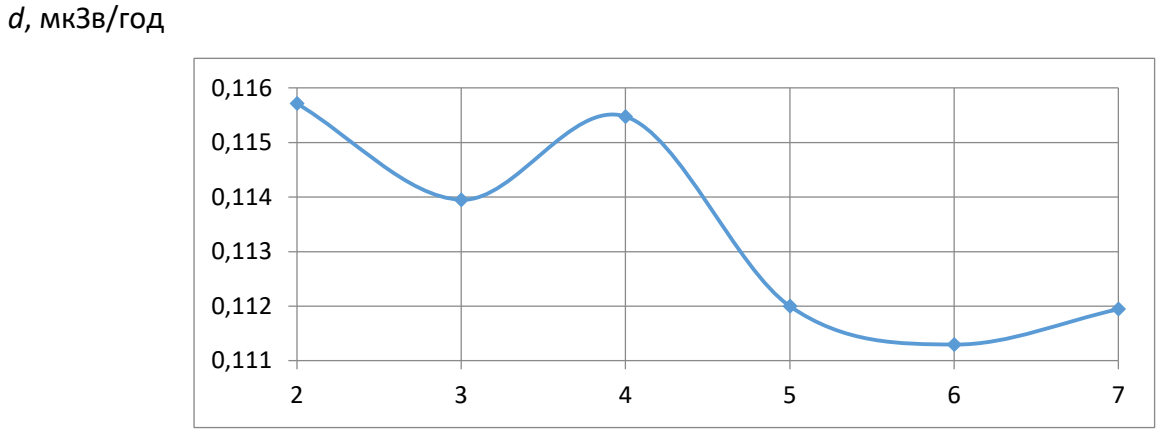


Рис. 35. Залежність середнього значення потужності дози від швидкості вітру (у м/с)

Ця залежність не виявляє певних тенденцій в межах похибки приладу (коефіцієнт кореляції дорівнює 0,18). На рисунку 38 приведена залежність середнього значення потужності дози від напрямку вітру.

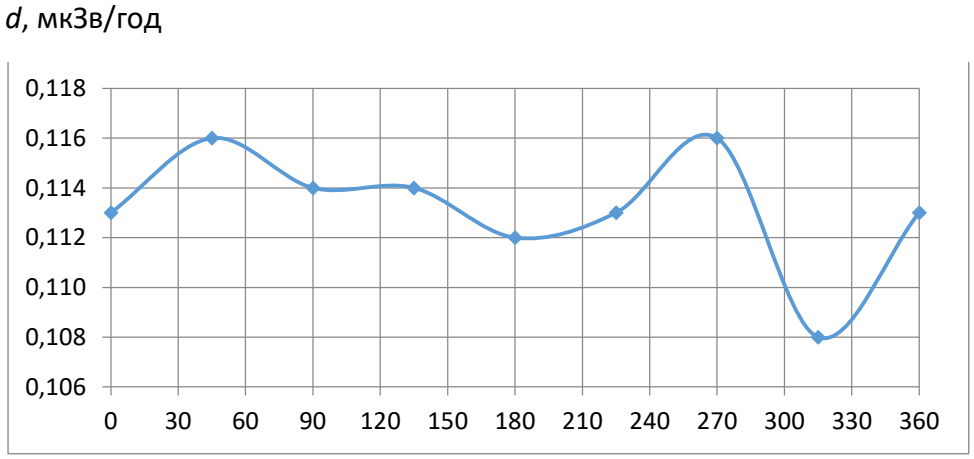
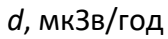


Рис. 36. Залежність середнього значення потужності дози від напрямку вітру в градусах

Ця залежність теж не виявляє певних тенденцій в межах похибки приладу (коефіцієнт кореляції дорівнює –0,08).

На рисунку 39 наведена залежність середнього значення потужності дози від температури повітря.



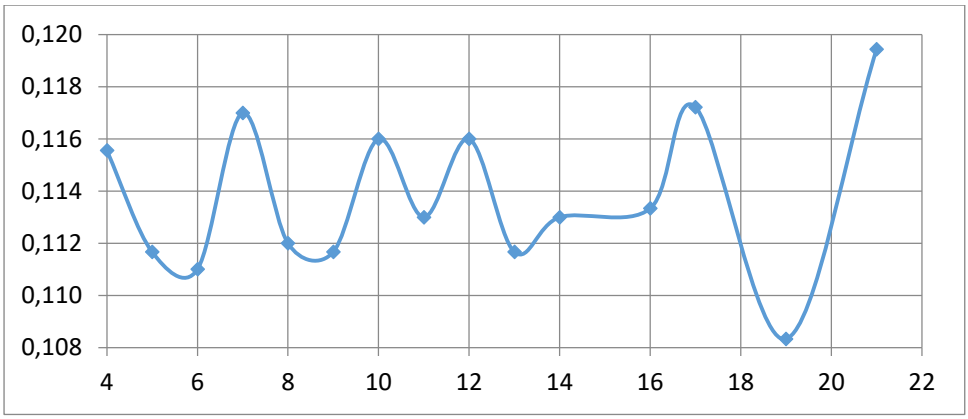


Рис. 37. Залежність середнього значення потужності дози

від температури повітря у ^{0}C

Ця залежність теж не виявляє певних тенденцій в межах похибки приладу (коефіцієнт кореляції дорівнює –0,28).

На рисунку 40 наведена залежність середнього значення потужності дози

від значень абсолютної вологості повітря під час спостережень.

d, мкЗв/год

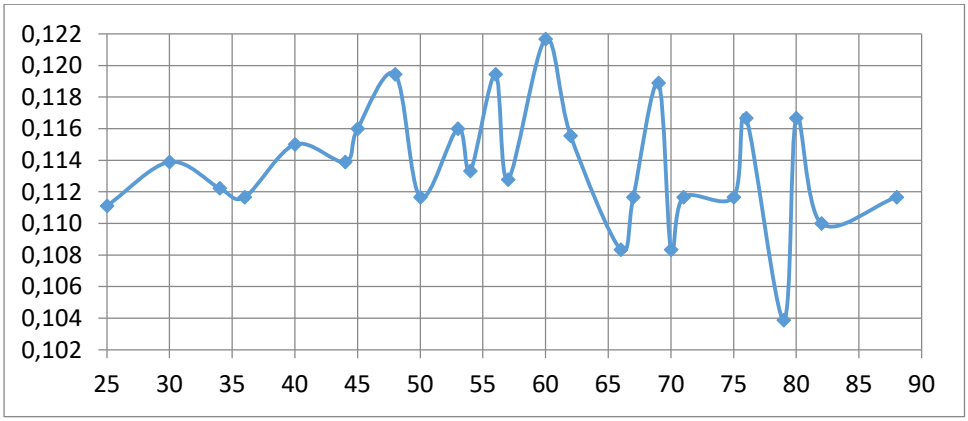


Рис. 38. . Залежність середнього значення потужності дози

від значень абсолютної вологості повітря у відсотках

Ця залежність теж не виявляє певних тенденцій в межах похибки приладу (коефіцієнт кореляції дорівнює –

ВИСНОВКИ

В результаті проведених в даній роботі досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Протягом 01 жовтня – 31 жовтня 2019 року (31 доба) були проведені вимірювання амбієнтного еквіваленту потужності дози неперервного рентгенівського та гамма-випромінювання на частині території Київського району м. Харкова.

2. Отримані дані характеризуються відносно незначним розкидом значень потужності дози від 0,06 мкЗв/год до 0,17 мкЗв/год від однієї доби вимірювань до іншої та між контрольними точками, це підтверджує проведений двохфакторний дисперсійний аналіз. Радіаційний фон в цих межах змінювався випадковим чином, але був практично в три рази нижче норми.

3. Для обробки отриманих даних було застосовано новий простий алгоритм, який дозволяє швидко і надійно здійснювати побудову поля радіаційного фону на всій контрольованій території, а також поблизу її меж на підставі результатів локальних вимірювань. За даною методикою була проведена обробка усіх результатів вимірювань і були побудовані карти радіаційного забруднення контрольованої території для кожної доби спостережень.

4. Досліджувалася залежність потужності дози від метеоумов під час проведення вимірювань: хмарності, напрямку і швидкості вітру, температури та вологості повітря. Ці залежності виявилися взагалі практично відсутніми або слабкими.

Література

1. Норми радіаційної небезпеки України (НРБУ-97) / МОЗ України. – К., 1997. – 127 с.
2. Коваленко Г. Д. Основы радиационной экологии / Г. Д.Коваленко, В. С. Волошин. – Мариуполь : «Рената», 2009. – 297 с.
3. Концепція захисту населення і територій у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій : Указ Президента України. – К., 1999.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Гетманец О.М., Пелихатый Н.М., Дроздов А.А., Некос В.Е., Кучеров К.И. Алгоритмы радиационного мониторинга местности в режиме реального времени./ Журнал наукових праць: Людина і довкілля. Проблеми неоекології. – Харків, ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2010. – № 2 (15). – С. 31 – 33.
8. Гетманец О.М., Пелихатый Н.М. Разработка алгоритма построения поля радиационного фона / Вісник Харківського національного

університету ім. В.Н. Каразіна. Серія : Екологія, вип. 14, Харків, ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2016. – С. 41 – 45.

9. Патент України на корисну модель № 125329. МКВ G 01 T 1/167. Спосіб радіаційного моніторингу місцевості у режимі реального часу / О. М. Гетманець, М. М. Пеліхатий. – № u201711031; заявл. 13.11.2017; опубл.15.05.2018.– Бюл. № 9.–6 с.
10. Гетманець О. М., Іванова К. Ю., Пеліхатий М. М. Молель 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.
11. Александров Ю. А. Основы радиационной экологии [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://ekolog.org/-books/33/2_2.htm
12. На захисті здоров'я оточуючого середовища [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу:http://scientificrussia.ru/articles/na-strazhe-zdorovya-okruzhayushchej-sredy
13. 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
14. Історія відкриття радіоактивності [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу:http://bibliofond.ru/view.aspx?id=111474
15. 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.
16. ТЕРРА дозиметр-радіометр МКС-05 / офіційний сайт компанії “ЕКОТЕСТ” / [Електронний ресурс]. - Режим доступу до сайту: http://ecotest.ua/products/terra-dozymetr-radiometr-mks-05/. - Назва з екрану

Додаток

Фрагмент комп'ютерної програми «Maple-12» для побудови карти радіаційного фону (станом на 14.10.2019 р.)

"

Вводимо вхідні дані: координати усіх 18-ти контрольних точок (*xi; yi*); відсортовані за зростанням потужності дози (z1 ÷ z18) значення відстаней вздовж ламаної (*l1 ÷ l18*) за даними таблиці 3 та шукаємо рівняння регресії $d := z(l)$ методом найменших квадратів у вигляді поліному 6-го ступеня за *l*:

```
restart; with(stats); x1 := 0.0; x2 := 90.0; x3 := 360.0; x4 := 170.0;
    x5 := 100.0; x6 := 100.0; x7 := 265.0; x8 := 380.0; x9 := 510.0;
    x10 := 500.0; x11 := 370.0; x12 := 180.0; x13 := 50.0; x14 :=
    -270.0; x15 := -450.0; x16 := -530.0; x17 := -360.0; x18 :=
    -50.0; y1 := 0.0; y2 := 120.0; y3 := 70.0; y4 := -80.0; y5 :=
    -140.0; y6 := -310.0; y7 := -300.0; y8 := -150.0; y9 := -30.0;
    y10 := 120.0; y11 := 250.0; y12 := 350.0; y13 := 410.0; y14
     := 400.0; y15 := 100.0; y16 := -80.0; y17 := -190.0; y18 :=
    -350.0; z1 := 0.07; z2 := 0.08; z3 := 0.09; z4 := 0.1; z5 := 0.1;
    z6 := 0.11; z7 := 0.11; z8 := 0.12; z9 := 0.12; z10 := 0.12; z11
     := 0.12; z12 := 0.13; z13 := 0.14; z14 := 0.14; z15 := 0.15; z16
     := 0.16; z17 := 0.16; z18 := 0.17; l1 := 0; l2 := 407; l3
     := 870; l4 := 1130; l5 := 1405; l6 := 1647; l7 := 2347; l8
     := 3396; l9 := 3790; l10 := 3933; l11 := 4253; l12 := 5054; l13
     := 5219; l14 := 5779; l15 := 6512; l16 := 6986; l17 := 7853;
    l18 := 8821; d := rhs(fit[leastsquare[[l, z], z = a·l^6 + b·l^5 + c
    ·l^4 + d·l^3 + e·l^2 + f·l + g]]([[l1, l2, l3, l4, l5, l6, l7, l8, l9, l10,
    l11, l12, l13, l14, l15, l16, l17, l18], [z1, z2, z3, z4, z5, z6, z7, z8,
    z9, z10, z11, z12, z13, z14, z15, z16, z17, z18]]));
```

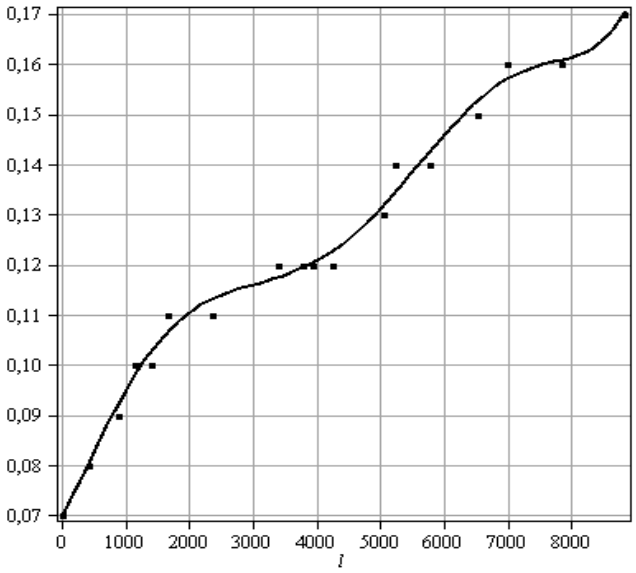
Нажимаємо кнопку «старт» та отримуємо рівняння регресії:

$$d := 1.03237922110^{-23}\, l^6 - 2.61531987910^{-19}\, l^5 + 2.36709452510^{-15}\, l^4 - 8.75045028810^{-12}\, l^3 + 8.70683236910^{-9}\, l^2 + 0.00002279612320\, l + 0.06985189660$$

Для візуалізації цього рівняння та порівняння з дозами у контрольних точках виконуємо команду "*plot*":

```
plot([d, [[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]]], l = 0 ..8850, axes
      = boxed, style = [line, point], color
      = black);
```

Одержуємо графік залежності потужності дози від відстані вздовж ламаної:



Він добре узгоджується з відсортованими даними вимірювань (чорні точки).

Тепер визначаємо відстань від довільної точки контрольованої зони з координатами (x, *y*) до кожної контрольної точки:

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

Далі відшукуємо найближчу до нашої довільної точки контрольну точку. Для цього перебираємо усі контрольні точки з 1-ї по 18-ту за допомогою добутку 17-ти функцій Хевісайда. Починаємо з 1-ї точки:

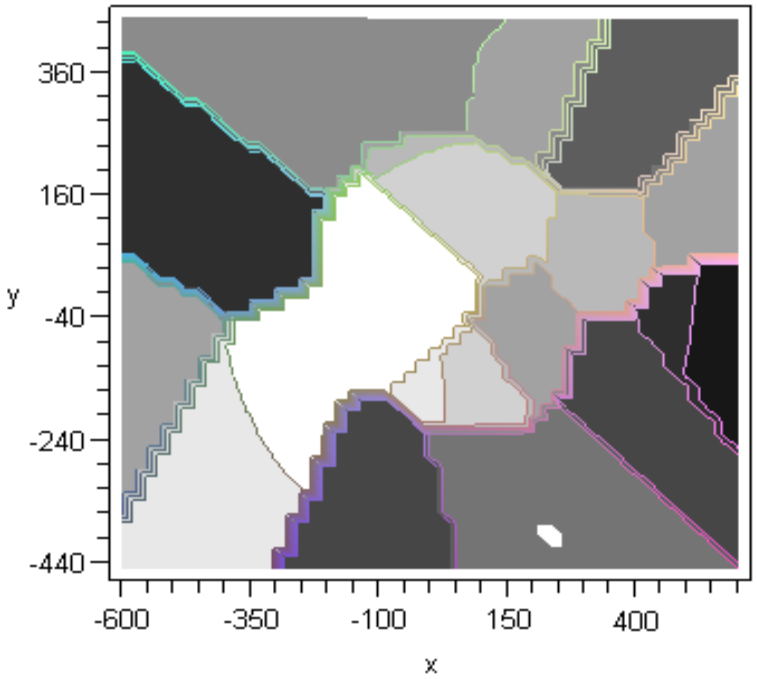
$$\begin{aligned} l := {} & \left(\Delta lx1 + l1\right)\cdot\mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx2 - \Delta lx1\right)\cdot\mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx3 - \Delta lx1\right) \\ & \cdot\mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx4 - \Delta lx1\right)\cdot\mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx5 - \Delta lx1\right) \\ & \cdot\mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx6 - \Delta lx1\right)\cdot\mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx7 - \Delta lx1\right) \\ & \cdot\mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx8 - \Delta lx1\right)\cdot\mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx9 - \Delta lx1\right) \\ & \cdot\mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx10 - \Delta lx1\right)\cdot\mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx11 - \Delta lx1\right) \\ & \cdot\mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx12 - \Delta lx1\right)\cdot\mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx13 - \Delta lx1\right) \\ & \cdot\mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx14 - \Delta lx1\right)\cdot\mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx15 - \Delta lx1\right) \\ & \cdot\mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx16 - \Delta lx1\right)\cdot\mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx17 - \Delta lx1\right) \\ & \cdot\mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx18 - \Delta lx1\right) + \end{aligned}$$

Цей добуток не обертається в нуль лише тоді, коли найближчою до точки (x, y) буде 1-ша контрольна точка. Множником ($\Delta lx1 + l1$) є відстань до 1-ї точки, яка лежить на ламаній на відстані $l1$ від її початку згідно таблиці 3. І так далі для усіх 17-ти добутків, що залишилися. Тим самим ми відшукаємо значення відстані l уздовж ламаної до точки (x, y), значення якої і підставимо в рівняння регресії для знаходження відповідної потужності дози.

Надалі робимо візуалізацію поля радіаційного фону за допомогою команди “*contourplot3d*”:

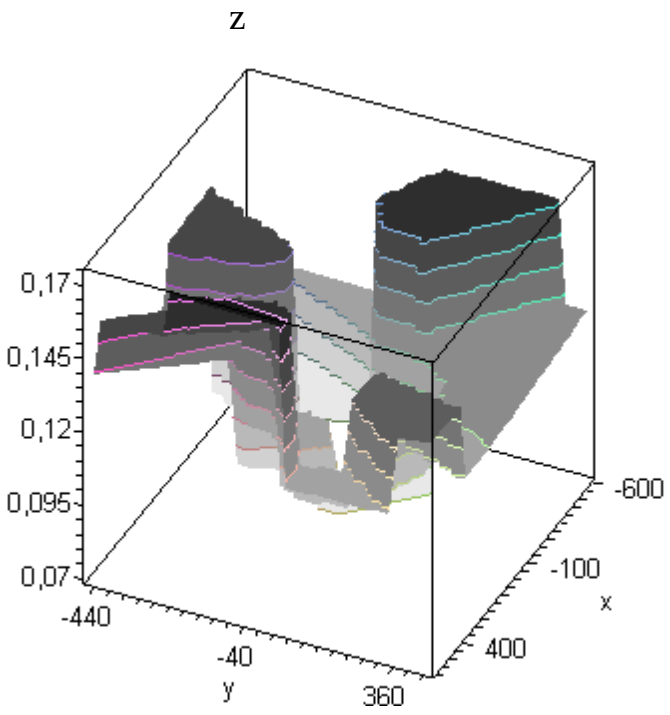
```
with(plots) : contourplot3d ({d}, x =−600..600, y =−450..450, grid
    = [50, 50], contours = [0.07, 0.08, 0.09, 0.10, 0.11, 0.12, 0.13, 0.14,
    0.15, 0.16, 0.17 ], filled = true, axes = boxed, orientation = [ −90,
    0], coloring = [white, black ]);
```

Тим самим ми виділяємо 11 контурів, що відповідають потужностям дози d = 0,07; 0,08; 0,09; 0,10; 0,11; 0,12; 0,13; 0,14; 0,15; 0,16; 0,17 мкЗв/год, які спостерігалися 14.04.2019, за допомогою різних відтінків від білого (d = 0,07 мкЗв/год) до чорного (d = 0,17 мкЗв/год) з інтервалом в 0,01 мкЗв/год (що дорівнює ціні поділки прибору) за тоном. При цьому одержимо карту радіаційного забруднення в інтервалі – 600 м < x < 600 м; – 450 м < y < 450 м відносно контрольної точки № 1. Операція “grid [50,50]” визначає, скільки інтервалів слід розраховувати уздовж осей x та y відповідно (тобто ми будуємо графік за 50x50 = 2500 квадратами). Цю точність у разі потреби можна збільшити.



Застосований алгоритм настільки чутливий, що дозволяє виявити окремі «плями» низького значення потужності дози d = 0,07 мкЗв/год на фоні d = 0,11 мкЗв/год

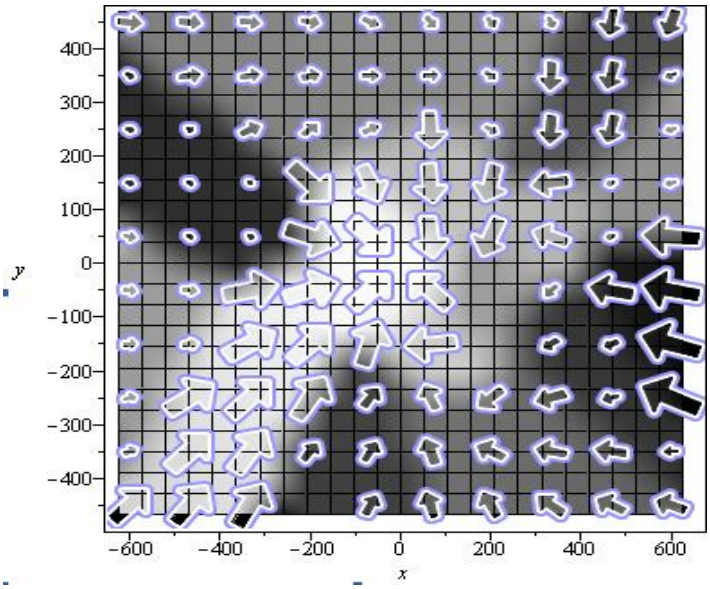
Цей графік може бути побудований також в 3d-вигляді. Для цього треба задати орієнтацію (*orientation*) 3d-осей (координати *x* і *y* в метрах, z – в мкЗв/год) :



Надалі шукаємо щільність поля та його градієнт у вигляді «стрілок» на фоні поля щільності потужності дози за допомогою команд "*densityplot*" і "*gradplot*" відповідно:

$$with(plots):p1 := gradplot(-d, x=-600..600, y=-450..450, grid = [10, 10], arrows = THICK):p2 := densityplot(-d, x=-600..600, y=-450..450, color = white):display(p1, p2, axes = BOX);$$

Остаточно отримаємо графік:



Тут на фоні щільності поля потужності дози (яка була обчислена за допомогою програми “*densityplot*”, і яка практично збігається з попереднім контурним графіком, що був побудований за допомогою незалежної програми “*contourplot3d*”) стрілками якісно показано напрямок і величину зворотного градієнту поля потужності дози. Значення градієнту пропорційні довжині векторів-стрілок (тому частина стрілок виходить за межі карти). Цей рисунок відображає основні тенденції зміни поля радіаційного фону на поточну добу. На рисунку наведено градієнт з точністю 10 на 10 стрілок по всій контрольованої зони (усього 100 стрілок), але, збільшивши число стрілок, можна розрахувати цей показник з будь-якою точністю.