

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА МЕТЕОРОЛОГІЇ ТА КЛІМАТОЛОГІЇ

На правах рукопису

УДК 551.524 (477)

Кваліфікаційна робота магістра
Спеціальність 103 – Науки про Землю
Освітня програма «МЕТЕОРОЛОГІЯ»

**ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ПРИЗЕМНОГО ШАРУ ПОВІТРЯ
РАДІОАКТИВНИМИ АЕРОЗОЛЯМИ ВНАСЛІДОК ВТОРИННОГО
ВІТРОВОГО ПІДЙОМУ**

Виконала студентка II курсу ОР «Магістр»
кафедри метеорології та кліматології
Сівак Анастасія Валеріївна

Науковий керівник асистент кафедри метеорології та
кліматології
Яценко Юлія Володимирівна

Робота рекомендується до захисту

Протокол № _____ засідання кафедри метеорології та кліматології
від «___» _____ 2023 р.

Завідувач кафедри метеорології та кліматології доктор географічних наук, професор
Сніжко Сергій Іванович

Київ–2023

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАБРУДНЕННЯ ПРИЗЕМНОГО ШАРУ ПОВІТРЯ РАДІОАКТИВНИМИ ДОМІШКАМИ В ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ ТА ПХЗ	6
1.1 Загальні відомості про розташування та фізико – географічне положення території дослідження.....	6
1.2 Стан досліджень забруднення приземного шару повітря радіоактивними домішками на території Придніпровського хімічного заводу	8
РОЗДІЛ 2. ВТОРИННИЙ ПІДЙОМ АЕРОЗОЛЮ В ПРИЗЕМНОМУ ШАРІ АТМОСФЕРИ	14
2.1. Ресуспензія аерозолю в приземному шарі атмосфери.....	14
2.2. Джерела вторинного забруднення в природних умовах	18
2.3. Розподіл активності за розмірами часток аерозолю	20
2.4. Оцінка швидкості сухого осадження аерозолю.....	22
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНЕСЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ ДОМІШОК У ПРИЗЕМНОМУ ШАРІ ПОВІТРЯ	24
3.1. Оцінка сучасного вітрового режиму у районі хвостосховищ ПХЗ	24
3.2. Опис сучасних вітрових моделей	27
3.2.1. Моделі на основі оцінки потоку через коефіцієнт вітрового підйому	28
3.2.2. Моделі вітрової ерозії. Сальтаційні моделі	29
3.3. Обґрунтування вибору моделей для оцінки поля приземних концентрацій радіонуклідів	35

3.4. Моделювання поля забруднення атмосферного повітря радіоактивними аерозолями в зоні впливу Придніпровського хімічного заводу	49
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56
ДОДАТКИ.....	61

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогоднішній день, у світі спостерігається дуже високе «запилення» повітряного середовища — збагачення його аерозолями. За останні майже 30 років запиленість атмосфери зросла майже в десять разів, саме за рахунок дисперсних забруднювачів.

Підстилаюча поверхня є постійним поверхневим джерелом аерозолію зі змінною швидкістю викиду речовини в залежності від зміни метеорологічних умов і характеру підстилаючої поверхні.

Дослідження процесів вторинного вітрового підйому і розсіювання пилу, забрудненого токсичними речовинами, стали актуальними після випробувань ядерної зброї та аварій на атомних підприємствах. Більша частина результатів у цій галузі знань отримана в різних умовах після промислових аварій і випробувань ядерної зброї.

Метою роботи є аналіз формування і особливості забруднення майданчика і прилеглих територій об'єктів колишнього уранового виробництва ВО «Придніпровський хімічний завод» (ПХЗ), на основі статистичного аналізу даних багаторічних спостережень за вмістом природних радіонуклідів у техногенно підвищених концентраціях в аерозолях приземного шару атмосфери на майданчику і зонах впливу. Оцінити мінливість результатів проведених вимірювань і підготувати набір необхідних вихідних даних і параметрів для моделювання процесів переносу аерозолів при вітровому підйомі. Провести моделювання поля забруднення атмосферного повітря радіоактивними аерозолями в зоні впливу ПХЗ.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз сучасного стану досліджень забруднення приземного шару повітря радіоактивними домішками на території ПХЗ.

2. Визначити закономірності багаторічного ходу швидкості і напрямку вітру в районі дослідження.

3. Оцінити забруднення атмосферного повітря внаслідок вторинного вітрового підйому радіоактивних аерозолів.

Об'єкт дослідження – території промислових площадок ПХЗ, забруднені радіоактивними аерозолями, приземний шар атмосферного повітря.

Предмет дослідження – вторинний вітровий підйом радіоактивних аерозолей.

Матеріали та методи досліджень – Для вирішення поставлених у роботі завдань застосовано методи аналізу та синтезу, статистичної обробки даних, метод картографування, моделювання. Використано пакети прикладних програм MS Office, MS Excel, Statistica, Surfer, MeteoInfoMap, GoogleEarthPro.

Матеріалами для проведення досліджень є дані швидкості і напрямку вітру по метеостанції Кам'янське за період 2010-2021рр., дані про вміст радіонуклідів в 5 см шарі ґрунту на х/с «Сухачівське» і «База С», дані про середні і допустимі об'ємні концентрації радіоактивного аерозолю в приземному шарі атмосфери на х/с «Сухачівське» і «База С» за 15.16.09.2009р. та 14-15.10.2009р.

Публікації за результатами досліджень:

Кравчук А.В. Оцінка ризику забруднення приземного шару повітря радіоактивними аерозолями внаслідок вітрового підйому. Тези XX Міжнар. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених "Шевченківська весна-2023: Географія" (26 квітня 2020 р., м .Київ). К.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2020. Вип. XX. С. 43-46.

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАБРУДНЕННЯ ПРИЗЕМНОГО ШАРУ ПОВІТРЯ РАДІОАКТИВНИМИ ДОМІШКАМИ В ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ ТА ПХЗ

1.1 Загальні відомості про розташування та фізико – географічне положення території дослідження

Що стосується Придніпровського хімічного заводу (ПХЗ), то про його існування знають одиниці. Основним видом діяльності на виробничому об'єднанні «Придніпровський хімічний завод» у період з 1949 до 1991 рр. була переробка уранової сировини з метою отримання концентрату природного урану для потреб військово-промислового комплексу колишнього СРСР. У зв'язку з розпадом Радянського Союзу і подальшими процесами децентралізації ВО «ПХЗ» припинило свою діяльність, не дотримуючись вимог щодо його ліквідації, консервації або перепрофілювання як уранового об'єкта. В умовах неплатоспроможності ВО «ПХЗ» була запроваджена процедура реструктуризації заводу з подальшою приватизацією окремих об'єктів та їх комерціалізацією.

Виробниче об'єднання «Придніпровський хімічний завод» розташоване в промисловій зоні міста м. Кам'янське (до серпня 2016 р. — м.Дніпродзержинськ). Координати міста: 48°31'44" пн. ш. 34°35'49" сх. д. Місто Кам'янське розташоване на обох берегах Кам'янського (колишнього Дніпродзержинського) водосховища у середній течії р. Дніпро, нижче від греблі Середньодніпровської гідроелектростанції [21]. Через територію Придніпровського хімічного заводу протікають такі річки, як Дніпро та Коноплянка.

Колишній ПХЗ складається з 2 промислових майданчиків. Основний промисловий майданчик — Кам'янський (Дніпродзержинський), розташований на східній околиці міста в промисловій зоні та займає площу близько 250 га. Майданчик як функціонально, так і за рівнем радіаційного

забруднення території поділяється на північну та південну частини. У південній частині зосереджені колишні цехи, будівлі та споруди, пов'язані з переробкою уранових руд. Забруднення території вкрай нерівномірне, найбільші рівні потужності дози гамма-випромінювання приурочені до ділянок, що розташовані поблизу основних технологічних будівель (103, 104, 2Б) та хвостосховищ (Західне, Центральний Яр і Південно-Східне), розміщених у цій частині проммайданчика. В північній частині проммайданчика, в основному, розміщені діючі виробничі потужності з виробництва мінеральних добрив, іонообмінних смол, допоміжні та інші споруди. Потужність гамма-дози на цій території за винятком невеликої ділянки у східній її частині спостерігається на рівні природного фону (0,15—0,20 мкЗв/год). У рамках виконання проєкту Європейської комісії U4.01/10G «Розроблення методу (стратегії, технології) рекультивації території колишнього уранового об'єкта “Придніпровський хімічний завод”, була проведена попередня інвентаризація наявності будівель та споруд у північній та південній частинах проммайданчика, отримана інформація щодо їх поточних власників та щодо використання об'єктів. Так, на забрудненій південній частині проммайданчика налічувалося близько 100 будівель та споруд, на північній — близько 60 одиниць. Більшість споруд у північній частині проммайданчика використовуються у виробничій діяльності (виробництво мінеральних добрив, іонообмінних смол, енерго- та водопостачання), при цьому лише окремі будівлі (близько 20) на південному майданчику задіяні у виробничих процесах [21, 25].

Другий майданчик — Сухачівський, розташований на південний схід від міста, який складається з двох уранових об'єктів: хвостосховище Сухачів (секції 1 та 2) та колишній склад уранової руди, так звана База С. Інфраструктура колишнього ПХЗ охоплює хвостосховище Сухачівське — секції 1 і 2, які розташовані на відстані 14,5 км на південний схід від міста Кам'янське і за 2 км на північний захід від села Таромське. На території

секції 1 розташована так звана Споруда 602 «Лантанова фракція» з відходами, збагаченими торієм. Згідно з даними, що потребують уточнення, у сховищі «Лантанова фракція» розміщені контейнери з ґрунтом, забрудненим цезієм-137 (^{137}Cs). Ці відходи утворилися внаслідок ліквідації радіаційної аварії (розгерметизація капсули з джерелом іонізуючого випромінювання, що використовувалося для каротажу свердловин) [21].

Клімат у районі розташування промайданчика ПХЗ помірно-континентальний, характеризується жарким (іноді сухим) літом і відносно холодною зимою. Зима порівняно м'яка, з хмарною погодою і густими туманами. За даними Українського гідрометеорологічного центру, середня температура повітря взимку становить $-3\text{...}-5$ °С. Середня температура найхолоднішого місяця (січня) становить $-5,4$ °С, мінімальна добова температура також спостерігалася в січні й сягала -38 °С.

Літо тепле, а в окремі роки спекотне, посушливе. Середня місячна температура повітря влітку — $+19\text{--}21$ °С, а найспекотнішого місяця (липня) — $+22,3$ °С, при максимальній температурі $+40$ °С.

Зимові й осінні місяці характеризуються відносно вітряною погодою. Найвища швидкість вітру спостерігається в листопаді і сягає 34 м/с, в той час як найбільша середньомісячна швидкість вітру спостерігається в лютому і становить $4,1$ м/с.

Середньорічна сума опадів у районі міста становить 513 мм. На формування клімату в районі впливає наближення міста до Кам'янського (Дніпродзержинського) водосховища, а саме випаровування води з його поверхні. Середньомісячна відносна вологість повітря протягом року коливається в межах $80\text{--}83$ % у зимовий період, зменшуючись у літні місяці до $40\text{--}42$ % [21].

1.2 Стан досліджень забруднення приземного шару повітря радіоактивними домішками в Зоні відчуження та ПХЗ

Території Чорнобильської та Фукусімської зон відчуження, Тоцького полігону, Східно-Уральського радіоактивного сліду є районами з підвищеною природною радіоактивністю є унікальними майданчиками для радіаційних досліджень у природних умовах [6, 8, 17, 19].

Першим проявом намагання фахівців максимально вивчити ситуацію, що склалась в зонах підвищеної концентрації радіонуклідів стала поява публікацій. Перша узагальнена робота після аварії на Чорнобильській АЕС була опублікована радіобіологами та радіоекологами у 1988 р. У 1993 р. Міністерство України в справах захисту населення від наслідків аварії на Чорнобильській АЕС (МНС України), Адміністрація зони відчуження та НВО «Прип'ять» почали в Чорнобилі видавати «Бюлетень екологічного стану зони відчуження», перший випуск якого було присвячено періоду з 1 січня 1992 до 30 червня 1993 років для популяризації та узагальнення накопичених знань.

В подальшому, з 1994 р. було засновано науково-технічний збірник «Проблеми чорнобильської зони відчуження», який сьогодні є виданням Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи в особі Адміністрації зони відчуження і зони безумовного (обов'язкового) відселення [16].

Одним з напрямків вивчення стану радіоактивного забруднення різних компонентів зони відчуження і в першу чергу її ґрунтів, була робота дослідників з пробами, відібраними у 30-ти кілометровій зоні. Здійснювався також аналіз, процесів вторинного її забруднення шляхом вітрового підйому радіонуклідів та їх «вилужування» з часток ядерного палива та реакторного графіту.

Важливим інструментом накопичення інформації і контролю радіоактивного забруднення територій, зокрема самої станції стала система «Проба». Всі ці зусилля з вивчення рівнів забрудненості території зони відчуження дозволили підготувати і у 1996 р. опублікувати «Атлас

Чорнобильської зони відчуження», що містив надзвичайно важливу на той час інформацію [3].

Під редакцією В.І. Холоші, у роботі під назвою “Радіологічний стан територій, віднесених до зон радіоактивного забруднення (у розрізі районів)” висвітлена неупереджена інформація про радіоекологічну ситуацію в Україні, яка отримана під час радіоекологічних обстежень та здійснення радіаційного моніторингу території України за роки після аварії на Чорнобильській АЕС [31].

Варті також уваги, роботи присвячені дослідженню вторинної небезпеки радіоактивних аерозолів під час пожеж в лісах, забруднених техногенними радіонуклідами. Досі тривають дискусії щодо визначальних параметрів надходження радіоактивних продуктів згоряння у довкілля під час лісових пожеж на території ЧЗВ.

Вперше методику дослідження радіаційних наслідків від пожеж в лісах, забруднених техногенними радіонуклідами, було запропоновано Душа-Гудимом С.І. В подальшому розвиток цього напрямку досліджень продовжили Однолько А.А., Гаркавий С.Ф., Процак В.П., Граб М.В., Талерко М.М., Гаргер Є.К. та ін. Серед найновіших публікацій можна відмітити роботу М. М. Талерко, Т. Д. Лев, І. В. Ковалець, Ю. В. Яценко - «Моделювання атмосферного розповсюдження радіоактивності, винесеної в повітря в результаті лісових пожеж у зоні відчуження у квітні 2020 р.» у якій висвітлено результати моделювання розповсюдження радіоактивних аерозолів, які потрапили в атмосферу в результаті пожеж на ділянках лісу та трави в зоні відчуження, а також у радіоактивно забруднених лісових масивах за її межами в Київській та Житомирській областях [20]. Моделювання лісових пожеж добре представлено в роботах Гришина А.М. Автореабілітаційними процесами в екосистемах ЧЗВ займалися Шестопапов В.М., Францевич Л.І., Балашов Л.С., Бондаренко Г.М., Гайченко В.А.

Викликає велику зацікавленість колективна монографія під редакцією академіка НАН України Барьяхтара В.Г. «Чернобыльская катастрофа», в якій

надана інформація з вивчення формування поля радіоактивного забруднення внаслідок аварії на ЧАЕС, дослідження біогеохімічних властивостей радіонуклідів чорнобильського викиду й оцінці механізму їх міграції в природному середовищі території України [22].

Також, здійснено дистанційний радіаційний моніторинг високорадіоактивних домішок в Чорнобильській зоні відчуження, інноваційне вимірювальне обладнання під назвою «GR-Smart System» було використане на борту октокоптера для аналізу деяких сильно забруднених територій Чорнобильської зони. Результати роботи викладено авторами V. Burtniak, Yu. Zabulonov¹, M. Stokolos, L. Bulavin, V. Krasnoholovets в роботі під назвою - «The Remote Radiation Monitoring of Highly Radioactive Sports in the Chernobyl Exclusion Zone» [34].

На сьогоднішній день дослідження в області радіаційного забруднення проводить Національна академія наук України, зокрема, Інститут проблем безпеки АЕС, а саме відділ радіаційної екології на чолі з Талерко Миколою Миколайовичем. Одним із напрямків діяльності якої є оцінка радіоактивного забруднення навколишнього середовища, викликаного можливими аварійними викидами на АЕС на основі моделювання переносу радіонуклідів у атмосфері. Також, Талерко М.М. є співавтором англomовної монографії опублікованої у 2020 р., присвяченої дослідженню процесів вторинного підйому радіоактивного аерозолу в атмосферу із забруднених поверхонь у локальному та мезомасштабі (природний вітровий підйом (ресуспензія), сільськогосподарські роботи, лісові пожежі, пилові бурі, тощо) [26]. Робота С. А. Паскевича, Д. В. Городецького, Л. І. Павловського під назвою «Визначення та класифікація радіаційно-небезпечних об'єктів чорнобильської зони відчуження для оцінки їхнього сукупного впливу на довкілля» в котрій надано перелік діючих і потенційних радіаційно-небезпечних об'єктів на території чорнобильської зони відчуження. Проаналізовано наявну інформацію про радіологічну ситуацію на території цих об'єктів, на підставі чого надано їхню класифікацію за категоріями

потенційної небезпеки [31]. Ще однією опублікованою роботою в даному контексті питання є «Радіоактивні аерозолі в умовах нового безпечного конфайнмента у 2018 р.» авторами якої є О. С. Лагуненко, В. Є. Хан, О. К. Калиновський, В. О. Кашпур, В. П. Ковальчук, П. В. Сабенін, О. А. Свирид, А. В. Ткач, С. В. Юрчук у якій наведено результати контролю поведінки радіоактивних аерозолів в умовах нового безпечного конфайнмента (НБК) у 2018 р. [14]. В. К. Шинкаренко, М. М. Талерко, В. О. Кашпур, Г. Г. Скоряк, О. А. Свирид у праці «Радіоактивні аерозолі в ближній зоні Чорнобильської атомної електростанції у 2018 р.» навели дані про стан забруднення радіоактивними аерозолями приземного шару атмосфери ближньої зони Чорнобильської атомної електростанції (ЧАЕС) після спорудження арки нового безпечного конфайнмента (НБК) [23].

Окрім, ІПБ АЕС інформаційне забезпечення радіаційної безпеки у зоні відчуження, управлінські рішення щодо ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи в частині мінімізації виносу радіонуклідів, а також проведення водоохоронних заходів проводить державне спеціалізоване підприємство «Екоцентр» створене в 2016 р. Серед робіт, опублікованих на основі даних ДСП «Екоцентр», можна виділили роботу Войцехович О.В., Канівець В.В., Лаптев Г.В., Кіреєв С.І., Обрізан С.М. «Стан радіоактивного забруднення поверхневих вод» у котрій проведено аналіз поточного стану радіоактивного забруднення водних об'єктів зони відчуження [34].

Українськими центрами, що займаються дослідженнями сфери радіації є Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки котрий щоквартально публікує науково-технічний журнал «Ядерна та радіаційна безпека» в якому зокрема, у 2016 році було опубліковано статтю «Радіаційні наслідки пожежі в зоні відчуження Чорнобильської АЕС» авторами якої є V. Bohorad, T. Lytvynska, I. Shevchenko, O. Dybach, O. Slerchenko у якій описуються аналітичні дослідження, що стосуються оцінки радіаційних впливів на населення м. Києва від пожежі на радіаційно забруднених територіях у районі сільгоспу «Чорнобильська пуща», з

проведенням модельних оцінок за допомогою розрахункових систем JRODOS і HotSpot, та розповідається про прямі радіаційні дослідження, які виконувалися на той час [43]. Такими центрами також є Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, ДСП «Чорнобильська АЕС», Державне агентство України з управління зоною відчуження.

Що стосується досліджень цього питання на території Придніпровського хімічного заводу, то варто взяти до уваги публікацію Т. В. Лаврова, О. В. Войцеховича, С. Б. Соколова, В. О. Кашпура, А. В. Ткачука - «Оцінка радіаційного забруднення аерозолів повітря на території колишнього підприємства з переробки уранових руд» в котрій на основі статистичного аналізу даних багаторічних спостережень за вмістом природних радіонуклідів у техногенно підвищених концентраціях в аерозолях приземного шару атмосфери на майданчику і зонах впливу об'єктів колишнього уранового виробництва колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод» (ВО «ПХЗ» м. Кам'янське), виконано аналіз формування трендів і особливостей забруднення майданчика і прилеглих територій [33].

Робота А.В. Халченкова, И.В. Ковальця, Т.В. Лаврова, С.В. Годосиенко «Модельовання атмосферного перенесення радіонуклідів у складі частинок пилу на околицях об'єктів зберігання радіоактивних відходів» описує результати чисельного моделювання атмосферного перенесення радіонуклідів у складі пилу навколо об'єктів зберігання радіоактивних відходів колишнього ПЗ «Придніпровський хімічний завод» (ПХЗ). Для розрахунку атмосферного перенесення використовувалися діагностична метеорологічна модель CALMET та модель атмосферного перенесення CALPUFF [2].

Аналізуючи наукові праці, можна сказати, що питання забруднення приземного шару повітря радіоактивними домішками в Зоні відчуження та ПХЗ, внаслідок антропогенного впливу, потребують додаткового вивчення.

РОЗДІЛ 2 ВТОРИННИЙ ПІДЙОМ АЕРОЗОЛЮ В ПРИЗЕМНОМУ ШАРІ АТМОСФЕРИ

2.1. Ресуспензія аерозолю в приземному шарі атмосфери

Ресуспензія (також називається повторним підйомом) відповідає процесу, де частинки, що осідають на поверхні, повторно піднімаються і включають перенесення токсичних частинок в респірабельному діапазоні їх діаметрів. Частинки забруднення осаджуються на ґрунт, прикріплюючись до великих частинок ґрунту.

Декілька різних оглядів було присв'ячено опису основних концепцій, механізмів та моделей для отримання кількісних характеристик ресуспензії радіоактивних частинок з поверхневого шару ґрунту [1-5]. Одним із головних результатів цих спроб було те, що коефіцієнт ресуспензії K найчастіше використовується для оцінки об'ємної активності у випадках, коли прямі виміри об'ємної активності відсутні. При цьому коефіцієнт вітрового підйому (ресуспензії) визначається, як відношення об'ємної активності до щільності забруднення ґрунту.

$$K = \frac{q}{c} = \frac{\text{об'ємна активність (Бк}\cdot\text{м}^{-3})}{\text{середнє забруднення поверхні ґрунту (Бк}\cdot\text{м}^{-2})}. \quad (2.1)$$

З формули (2.1) випливає, що цей коефіцієнт корисний у локальних ситуаціях для характеристики зв'язку між поверхнею та концентрацією у повітрі. При цьому передбачається наявність рівноваги між піднятим вітром в атмосферу аерозолем та його осадженням [1], що може спостерігатися за умов повної однорідності забруднення на великій однорідній території.

Однак на практиці відсутні рівномірно забруднені поверхні, і концентрація в повітрі є сумою локального забруднення, піднятого за рахунок ресуспензії, і забруднення, піднятого за рахунок ресуспензії вище за

вітром і принесеної в точку вимірювання за рахунок адвективного потоку [4, 7, 8].

Одним із недоліків у концепції коефіцієнта ресуспензії є те, що повітряна концентрація, як передбачається, швидше є пов'язаною з аерозолем, що піднімається з поверхні ґрунту безпосередньо біля рецептора, ніж з вітром, що набігає. Інакше кажучи, ігнорується просторовий розподіл забруднення і розміри забрудненої зони.

Як зазначено в [2], “цьому емпіричному підходу не властиво включення багатьох змінних, а сучасні оцінки ґрунтуються на короткочасних експериментах з малими спробами знайти коефіцієнт, що застосовується до довготривалого (наприклад, 1 рік) осередку”.

Проте кілька різних моделей для K були виведені з баз даних [1, 7, 8] і хоча коефіцієнт ресуспензії має обмежене фізичне визначення, він використовується, як просто певний і зручний параметр для оцінки ресуспензії.

Першу спробу оцінити тимчасову залежність $K(t)$ після Чорнобильської аварії було описано в [10]; ця робота була продовжена в [11] для створення емпіричних моделей $K(t)$ на основі експериментальних матеріалів, отриманих у різних західних країнах після Чорнобильської аварії. Невизначеність K становить два-три порядки величини навіть у одному польовому експерименті [1, 2].

Визначення K при просторово-часовому аналізі задається формулою [56]:

$$K = \frac{1/T \int q(x,z,y,r,t) dt}{1/S \int c(x,z,d,r,t) dt}, \quad (2.2)$$

де T – період осереднення повітряної концентрації; S – середня площа майданчика відбору ґрунту; x, y, z – координати; d – глибина ґрунту; r – радіус аерозольних частинок. Функції q і c описують повітряну концентрацію

та щільність поверхневого забруднення ґрунту відповідно; $c(x,y,d,r,t)$ враховує запас забруднення в ґрунтовому шарі глибиною d .

Функція $q(x,y,z;r,t)$ для повітряної концентрації високоваріабельна в часі, що обумовлено високою рухливістю атмосфери і високою мінливістю вертикального турбулентного потоку радіоактивності. Крім цього, на функцію впливає зміна синоптичних процесів над цією територією та їх сезонний перебіг. Знання фізико-хімічних характеристик аерозолі також важливо, оскільки величина C безпосередньо залежить від інтегральної концентрації, яка залежить і від часу інтегрування, і від розподілу частинок за розмірами. На практиці верхня межа відсічення розміру частинок аерозолі невідома, і відсутність цієї інформації може призвести до різних результатів у $q(x, y, z; r, t)$, вимірюваних у той же час і в тому ж місці з коефіцієнтом порядку 2 і навіть більше.

При експериментальному вимірі час T є або внутрішнім періодом осереднення забірною пристроєм ($T=T'$), або вибраний період осереднення для конкретного завдання (при цьому $T' < T$); наприклад, ця оцінка може бути для однієї доби, тижня або 10 днів і більше, або кількох годин, залежно від необхідності оцінки за короткий період часу.

Суттєво, що T' становить час опосередкування необроблених даних, як передбачено регламентом спостережень; T представляє час осереднення, необхідний для аналізу K , і може бути тільки більшим T' .

В ідеальному випадку час осереднення та просторове осереднення мають бути рівними. Період вимірювання радіоактивності триває кілька годин або діб. Поверхнева концентрація зазвичай осереднюється у просторі найчастіше на невеликій площі навколо забору повітря. Траєкторія повітряних частинок для типових періодів забору повітря може становити сотні кілометрів.

Тоді, величина невизначеності емпіричного K залежатиме від просторової неоднорідності забрудненої території. В [51] показано, що ефект адвекції від високо забрудненої території вгору за вітром може збільшити величини K на два-три порядки величини при вимірюваннях на відстані близько 14 км від центру забрудненої території.

Забруднення радіонуклідами території, що прилягає до ЧАЕС, внаслідок аварії, що сталася на четвертому енергоблоці, зробило її поверхневим джерелом надходження радіоактивних аерозолів в атмосферу за рахунок механічного та природного вітрового підйому. Природний підйом, що охоплює великі просторові масштаби і триває значний час, є одним із основних факторів міграції радіонуклідів в атмосфері. У зв'язку з цим розробка методів прогнозу вітрового підйому, перенесення та випадіння від забрудненої території на основі фізико-математичних моделей має велике значення для отримання практичних рекомендацій діяльності людини на забрудненій та прилеглий до неї територіях. Важливою частиною подібних робіт є експериментальне визначення фізичних параметрів вітрового підйому.

Для розрахунку перенесення радіонуклідів від поверхневого джерела необхідно знати, його потужність пиління, рівну вертикальному турбулентному потоку радіонуклідів біля земної поверхні Q [$\text{Бк} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$], або її величину нормовану на щільність забруднення поверхні ґрунту.

Відповідно до [12], інтенсивність ресуспензії визначається як доля забруднення на землі, яка піднімається в повітря за одиницю часу за рахунок вітру або механічного збурення. Відповідно до цього визначення інтенсивність ресуспензії виражається:

$$\Lambda = \frac{Q}{c} [\text{с}^{-1}], \quad (2.3)$$

де c – щільність забруднення радіонуклідами поверхні, $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-2}$

У загальному випадку для плоского джерела з неоднорідною поверхнею і щільністю поверхневого забруднення інтенсивність вітрового підйому радіонуклідів може залежати від фізичних характеристик поверхні самих радіонуклідів, а також просторових координат x , y і часу. Знання інтенсивності ресуспензії як функції координат та часу дозволить описати поле концентрації у будь-якій точці навколо забрудненої території за допомогою рівняння турбулентної дифузії для точкового чи площинного джерела.

Загальну інтенсивність ресуспензії, як функцію, що визначається різними механізмами підйому частинок в повітря, можна представити у вигляді:

$$\Lambda = f(\Lambda_{air}, \Lambda_{salt}, \Lambda_{sc}, \Lambda_w, \Lambda_m), \quad (2.4)$$

де Λ_{air} – інтенсивність ресуспензії частинок (< 100 мкм), що рухаються дійсно як повітряна суспензія: Λ_{salt} – інтенсивність суспензії для частинок, що рухаються при сальтації (50 – 500 мкм). Λ_{sc} – інтенсивність суспензії частинок під час руху великих частинок (> 1000 мкм) поверхнею перекатуванням. Автор вважав, що ці три функції мають бути враховані, хоча домінувати може одна з них: Λ_w – вітрова інтенсивність ресуспензії також має розглядатися без трьох розглянутих способів перенесення. Зазвичай спостерігаються при сильних вітрах та еродованому ґрунті: Λ_m – інтенсивність ресуспензії за рахунок механічних причин підйому.

2.2. Джерела вторинного забруднення в природних умовах

Джерелами радіоактивного аерозолю після закриття Придніпровського хімічного заводу став природній вітровий підйом пилових частинок із забрудненої підстилаючої поверхні землі і прилеглих територій [1]. Антропогенне забруднення за рахунок підйому пилу із забруднених доріг, будівельних майданчиків, за рахунок лісових пожеж в радіоактивно забруднених зонах поза ними носили і носять локальний або

мезомасштабний характер, при цьому емісія аерозолу в атмосферу має значну інтенсивність. Особливим випадком вторинного підйому пилу є умови міської забудови, де в локальному масштабі можуть спостерігатися всілякі механізми ресуспензії [2]. Розглянемо детальніше джерела вторинного забруднення .

За даними шведських вчених [13] , спалювання деревини підвищує атмосферну концентрацію Cs-137. Проведене дослідження (взяття проб в районі Вільнельда) від зими 1993 р. по літо 1994 р. показало, що в холодну пору року концентрація Cs-137 у повітрі на відкритій ділянці перевищує концентрацію в лісі. З квітня по червень ситуація протилежна. Поясненням цього є те що, в холодні місяці активність Cs-137 в повітрі підвищується за допомогою появи радіоактивних частинок внаслідок застосування деревного палива для опалювальних систем у районі.

Існує безліч робіт у котрих описано вплив транспорту на ресуспензію. Зокрема, у роботі [15] проводили вимірювання Cs-137 у повітрі в Різо (Данія) після аварії і виявили чітко виражений тижневий цикл в атмосферних концентраціях Cs-137 у липні та серпні 1986 р. Вищі концентрації спостерігалися у будні, нижчі - у вихідні дні. Згодом ця залежність зникла. Неподільна періодичність була пов'язана з ресуспензією радіоактивного матеріалу після аварії на ЧАЕС внаслідок руху транспорту - зазвичай дороги були більше завантажені протягом тижня, ніж у вихідні дні. З часом осаджений матеріал, ймовірно, був піднятий транспортом, розсіяний вітром і частково зв'язався з поверхнею, що значно знизило його концентрацію.

Що стосується підйому радіоактивності при лісових пожежах, то як приклад можна навести наступний інцидент. У 1992 р. (28 - 31 липня) у зоні відчуження навколо Чорнобиля була лісова пожежа, що охопила 1300 га та, крім того, 2300 га трав'яного покриву. Оцінки показують, що при пожежі такого масштабу викид продуктів азоту в атмосферу може досягати висоти 2 - 3 км. Крім того, продукти горіння залучаються з таким струменем в далеке

перенесення на відстані близько сотень кілометрів. Пожежа, безперечно, підвищила концентрацію радіоактивності в повітрі до 17 км від джерела. Вимірювання атмосферної концентрації Cs-137 були виконані в Запіллі, місцевості з трав'янистим покриттям за 17 км на північний схід від джерела пожежі. У місяці, що передували пожежі, об'ємна активність Cs-137 становила $0,2 - 0,5 \text{ мкБк} \cdot \text{м}^{-3}$. Ця концентрація збільшилася в 10 разів і досягла $2,1 \text{ мкБк} \cdot \text{м}^{-3}$. Була виконана оцінка кількості Cs-137, піднятого у повітря під час пожежі. Розрахована загальна активність виділеного в атмосферу Cs-137 склала $3 \cdot 10^{11} \text{ Бк}$, що становить приблизно 5% від загальної активності Cs-137 в районі, що горів [16].

2.3. Розподіл активності за розмірами часток аерозолію

Після Чорнобильської аварії у різних частинах Європи було зроблено ряд вимірів, щоб характеризувати склад нуклідів та розміри частинок первинного радіоактивного аерозолію. У початковий період в епіцентрі зони аварії проводилися різні епізодичні вимірювання [1 - 4] за допомогою льотних засобів та прямих вимірювань над розвалом 4-го блоку, що дали уявлення про радіонуклідний склад аерозолів і величини їх винесення. Систематичні вимірювання 10-кілометрової зони були започатковані Гідрометеорологічною службою України у червні 1986 р. В основному ці вимірювання давали величини об'ємної активності, випадіння та їх радіонуклідний склад. Аналіз накопичених даних показав, що аварія на 4-му блоці ЧАЕС призвела до утворення складної аеродисперсної системи, що складається з аерозолів різної фізико-хімічної природи. Того ж року, у липні в 30-кілометровій зоні ЧАЕС НВО "Тайфун" Державного комітету з Гідрометеорології СРСР було створено аерозольну станцію поблизу Запілля, розташовану за 14 км на південь від ЧАЕС. Тут було розпочато вимірювання фізико-хімічних характеристик вторинного вітрового підйому аерозолію, його радіонуклідного та дисперсного складу [10-13], його поширення у просторі та часі, вторинного забруднення приземного повітря за рахунок різних типів

джерел.

Згідно з дослідженнями проведеними Гаргером імпактором ПК в 1993р. і викладених в підручнику [17] форми розподілу активності Cs-137 за розмірами частинок були різними протягом проведення експериментів. При вітровій ресуспезії та вітрі упоперек смуги пилу спостерігався одномодальний розподіл з максимумом в інтервалі 4 – 7 мкм. У період встановлення приладів було отримано бімодальний розподіл активності за розмірами частинок з максимумом для великих частинок в інтервалі 20-30 мкм і другим максимумом в інтервалі 4 - 7 мкм. При викошуванні трави навколо майданчика було піднято велику кількість тонкодисперсних частинок 0,1 - 2 мкм, але другий максимум також був виражений в інтервалі 20-30 мкм. Отримані результати говорять про те, що локальна маломасштабна антропогенна активність, виявляється, значно впливає на форму розподілу активності за розмірами часток.

Що стосується середніх об'ємів активності радіонуклідів ^{238}Pu , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{90}Sr були визначені за даними аерозольних фільтрів, одержуваних за допомогою забору "Град" та радіохімічного аналізу. Активність цих нуклідів порівняна з активністю Cs, виміряної за допомогою гамма-спектрометра. Для висоти забору повітря 3,5 м, яка також є висотою входу повітря в імпактор ПК, були обчислені середні співвідношення нуклідів до Cs-137, які склали 0,0103 для ^{238}Pu , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{90}Sr . Припускаючи, що відношення нуклідів незмінюється з різними інтервалами частинок, було зроблено оцінку розподілу активності цих радіонуклідів за різними фракціями частинок відповідно до виміряного розподілу Cs-137 і отримали, що об'ємні активності плутонію були значними в інтервалі 0,1 - 2,0 мкм і становили 36-40% загальної концентрації. Об'ємна активність гігантських частинок 12 - 20 мкм становила приблизно 20% загальної активності.

2.4. Оцінка швидкості сухого осадження аерозолію

Радіоактивне забруднення, що потрапило до атмосфери за рахунок сухого (гравітаційної седиментації та вітрової турбулентності) осадження, згодом випадає на підстильну поверхню. Час перебування забруднених часток в повітрі та розподіл забруднення на поверхні залежить від швидкості осадження.

При стаціонарних умовах в приземному шарі не повинно бути відмінностей у швидкості випадіння, тоді сумарне осадження $P(x,y)$ в точці з координатами (x,y) за період часу T можна розрахувати за формулою :

$$P(x,y) \cong \mathcal{V}_s^m \int_0^T q(x,y,z) dt = v_d \int_T^0 q(x,y,z) dt \quad (2.4.1)$$

де q об'ємна активність; \mathcal{V} - швидкість сухого осадження на висоті відбору z , м \cdot с $^{-1}$.

Оцінки v_d показують що її значення є досить мінливими та можуть змінюватися в межах кількох порядків величини. У регіональних (до 1000 км) моделях для оцінки осадження чорнобильських викидів у Європі значення швидкості сухого осадження використовувалися в інтервалі 0,05-0,20 см/с. Швидкість вологого осадження здебільшого параметризується за допомогою коефіцієнта вимивання, який залежить від інтенсивності опадів. Відносна роль сухого осадження залежатиме від частоти виникнення тих чи інших процесів опадів або туману, їхнього масштабу та інтенсивності, а також ефективності видалення забруднюючих речовин за кожним механізмом.

В оперативних умовах зазвичай оцінки швидкості сухого осадження проводяться за даними вимірювань об'ємної концентрації на рівні дихання людини (1,5 м) і щільності осаду радіоактивних речовин на горизонтальний планшет на висоті 1,0 м протягом часу T , що дозволяє оцінити v_d у кількох точках простору та за різні інтервали часу. Зазвичай інтервали часу

накопичення домішки можуть бути надто великі в порівнянні з тимчасовою мінливістю метеоумов, що може вносити труднощі в інтерпретацію та невизначеність оцінок v_d . На практиці необхідно враховувати осадження часток аерозолю широкого діапазону за розмірами, включаючи мікронні та субмікронні. В умовах радіаційної аварії слід враховувати полідисперсність викинутого радіоактивного аерозолю.

Отже, насправді швидкість v_d в оперативних вимірах дорівнює :

$$v_d(t) = \sum_i v(d, t)q_i / \sum q_i, (2.4.2)$$

де, v_d – середньозважена швидкість сухого осадження за час спостереження t , i -фракції радіоактивних частинок аерозолю.

РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНЕСЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ ДОМІШОК У ПРИЗЕМНОМУ ШАРІ ПОВІТРЯ

3.1 Оцінка сучасного вітрового режиму у районі хвостосховищ ПХЗ

Попередній аналіз даних про активність радіоактивного аерозолію по території ПХЗ показав, що не для всіх пунктів контролю є ряд спостережень. Тому, були вибрані окремі пункти з максимальними і фоновими значеннями, зокрема аналіз був проведений для хвостовищ: «Сухачівське» та «База С».

Хвостосховище "Сухачівське", що експлуатується з 1968 року, розташовано в Дніпропетровському районі. Перша його секція, що експлуатувалася в 1968 - 1983 роках (площа - 900 тис. кв. метрів) у ній заскладовано 19 млн. тонн відходів-хвостів загальною активністю $7,1 \cdot 10^{14}$ Бк. Хвостосховище не законсервовано.

Друга секція експлуатується з 1983 року (площа - 700 тис. кв. метрів). Чашу хвостосховища та захисні дамби обладнано протифільтраційними елементами. Тут заскладовано 5,6 млн. тонн відходів-хвостів загальною активністю $2,7 \cdot 10^{14}$ Бк, які утворюють нижню частину товщі. Поверхневий шар (завтовшки 4 - 5 метрів) складається з нерадіоактивних шламів, фосфогіпсу.

Сховище відходів уранового виробництва "База С", що експлуатувалося у 1960 - 1990 роках (площа - 250 тис. кв. метрів), є складом уранової сировини. Тут заскладовано 0,15 млн. тонн відходів (напівзруйновані конструкції бункерів уранової сировини, радіоактивно забруднені залізничні шляхи, ґрунти). Загальна активність відходів уранового виробництва $4,4 \cdot 10^{14}$ Бк.

Для визначення середньомісячної швидкості та напрямку вітру був проведений статистичний аналіз на території ПХЗ часового ряду 2010-2021рр. (див.табл 3.1)

Таблиця 3.1

Напря́м і швидкі́сть ві́тру за період 2010-2021рр.

Параметр	Рік	Місяць											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Серед.знач. швид.вітру (м/с)	2010р.	5	6	5	4	4	4	3	4	5	5	5	5
Серед.знач. напрямкувітруу (°)		129	138	199	167	160	140	107	165	144	171	195	191
Серед.знач. швид.вітру (м/с)	2011р.	3	6	5	5	5	4	3	4	4	4	4	5
Серед.знач. напрямкувітруу (°)		188	192	173	166	152	181	164	180	186	190	208	205
Серед,знач,швид, вітру (м/с)	2012р.	5	5	5	4	4	4	4	5	3	4	4	5
Серед.знач. напрямкувітруу (°)		164	154	206	185	131	218	137	207	185	180	174	167
Серед,знач,швид, вітру (м/с)	2013р,	4	5	6	4	4	4	4	4	5	4	5	5
Серед.знач. напрямкувітруу (°)		202	144	189	161	173	142	223	160	256	179	205	222
Серед,знач,швид, вітру (м/с)	2014р.	6	4	6	4	4	4	4	4	5	4	4	5
Серед.знач. напрямкувітруу (°)		173	166	164	167	163	213	93	185	112	134	121	169
Серед,знач,швид, вітру (м/с)	2015р.	5	5	5	5	4	3	4	4	5	4	5	5
Серед.знач. напрямкувітруу (°)		169	143	150	244	205	157	222	177	140	172	204	232
Серед,знач,швид, вітру (м/с)	2016р,	5	5	5	5	3	4	4	4	4	5	5	5
Серед.знач. напрямкувітруу (°)		204	192	203	212	159	142	193	140	211	135	197	229
Серед,знач,швид, вітру (м/с)	2017р.	5	5	5	5	4	4	4	4	5	5	4	5
Серед.знач. напрямкувітруу (°)		195	198	191	183	167	231	210	138	158	196	187	216

<i>Серед,знач,швид, вітру (м/с)</i>	2018р.	5	5	5	5	4	4	3	4	5	4	4	4
<i>Серед.знач. напрямкувітруу (°)</i>		154	150	182	208	118	140	200	120	183	148	104	172
<i>Серед,знач,швид, вітру (м/с)</i>	2019р.	5	5	5	4	4	4	3	4	4	3	5	4
<i>Серед.знач. напрямкувітруу (°)</i>		183	199	250	145	174	126	278	168	191	218	137	196
<i>Серед,знач,швид, вітру (м/с)</i>	2020р.	4	6	5	5	4	4	1	4	4	4	4	5
<i>Серед.знач. напрямкувітруу (°)</i>		214	208	170	248	218	139	164	175	171	179	172	145
<i>Серед,знач,швид, вітру (м/с)</i>	2021р.	5	5	5	4	4	4	3	4	4	4	4	5
<i>Серед.знач. напрямкувітруу (°)</i>		196	223	175	196	191	172	124	195	198	158	194	179

Аналіз даних показав що, переважаючим напрямком вітру за період 2010-2021рр. - був південний, середня швидкість вітру 4 м/с.

Для оцінки ризику забруднення радіоактивними аерозолями прилеглих територій, внаслідок вітрового підйому доцільно розрахувати повторюваність напрямку вітру, тобто визначити яку частину часу протягом аналізованого періоду дули вітри з тим чи іншим напрямком та виявити пріоритетний.

Таблиця 3.2

Повторюваність вітру по 8-ми основним напрямкам за період 2010-2021рр.

Повторюва ність, %	Пн.	Пн.Сх	Сх.	Пд.Сх	Пд.	Пд.Зх	Зх.	Пн.Зх
Кам'янське	0	0	2,8	22,2	52,8	19,4	2,8	0

Проаналізовані дані (табл. 3.1.2) показують, що протягом вказаного періоду в 53 % випадків вітер мав південну, в 22% - південно-східну і в 19 % - південно-західну складові вітру, отже, переважаючим напрямом за період 2010-2021 роки слід вважати вітер з південною складовою.

На рис. 3.1 відображено графічно напрям основних складових вітру на основі статистично розрахованих значень за вказаний період 2010-2021рр.

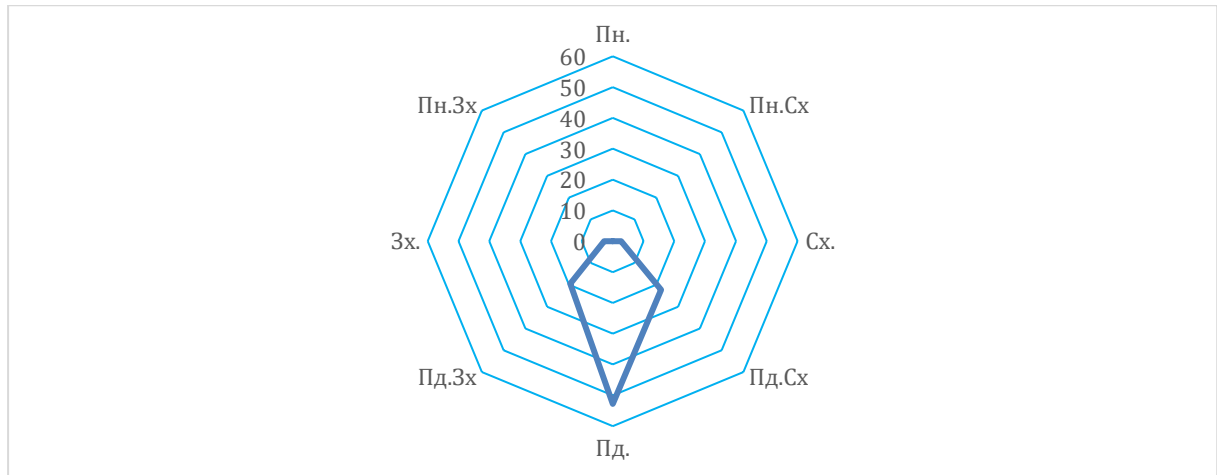


Рис.3.1 Роза вітрів по метеостанції Кам'янське за період 2010-2021рр.

У зоні впливу ПХЗ знаходяться населені пункти Горького, Таромське, Світле, Карнауховка, Орджонікідзе. Після статистичної оцінки характеристик вітру, визначено, що найбільш вразливими до забруднення приземного шару повітря радіоактивними аерозолями є населені пункти Світле, Таромське та Карнаухівка. Проте, при переважанні північної та західної складових вітру, в зоні ризику опиниться і Горького.

3.2 Опис сучасних вітрових моделей

У даній роботі розглядається дев'ять моделей вторинного вітрового підйому для розрахунку концентрації та перенесення забруднюючих домішок. Насамперед ці моделі відрізняються емпіричними параметрами, що використовуються для коефіцієнта повторного підйому. Вихідними параметрами для кожної моделі є – значення вертикального потоку F_v

активності з радіоактивно забрудненої поверхні землі ($\text{Бк} \cdot \text{с} / \text{м}^2$), тобто кількість активності, яка підіймається за одиницю часу з одиниці площі.

3.2.1. Моделі на основі оцінки потоку через коефіцієнт вітрового підйому

Найбільш вживаною моделлю для розрахунку концентрації радіонуклідної активності в повітрі є та, що виражається наступною формулою :

$$c(t) = K(t) \cdot D(0), \quad (3.2.1.1)$$

де, c – концентрація активності радіонукліда в повітрі ($\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3}$); K – коефіцієнт ресуспензії (м^{-1}), розрахований за допомогою різних моделей $K(t)$; D – щільність радіонукліда в ґрунті ($\text{Бк} \cdot \text{м}^{-2}$) у момент часу $t = 0$.

Науковець Наір розрахував зменшення щільності ґрунту з часом, що представляється формулою:

$$D(t) = D(0) \exp [-(\lambda_R + k) t], \quad (3.2.1.2)$$

де λ_R – константа радіоактивного розпаду радіонукліда (д^{-1}); і k — константа швидкості першого порядку з урахуванням процесів втрат (д^{-1}).

Для даної задачі $K(t)$ може задаватися константою (порядку 10^{-9} 1/м).

Галеріу намагався врахувати, як локальні процеси, так і процес адвекції:

$$C = C_{local} + C_{adv}, \quad (3.2.1.3)$$

де, C_{local} обчислюється за рівнянням: $K(t) = K \exp(-\frac{\ln 2}{T_1} t)$, де t вимірюється в днях. А C_{adv} представлено стандартним Гауссовою моделлю для віртуального точкового джерела для квадратного джерела площею $1000\text{м} \times 1000 \text{м}$:

$$C_{adv}(x, y, z = 0) = \frac{Q \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y z}\right)}{\pi\sigma_y\sigma_z U}, \quad (3.2.1.4)$$

де, x та y – координати рецептора відносно центру джерела, σ_y та σ_z – горизонтальна та вертикальна дисперсії координат частинок забруднювача відповідно.

Відповідно інтенсивність вітрового підйому Λ можна розрахувати за формулою :

$$\Lambda = K v_d, \quad (3.2.1.5)$$

де, v_d – швидкість сухого осадження, літературне значення якої $2 \text{ см } s^{-1}$ або використовувати середнє значення швидкості повторного суспендування Λ з для розрахунку інтенсивності джерела за рівнянням (3.2.1.4).

3.2.2 Моделі вітрової ерозії. Сальтаційні моделі

Сальтацією називають - стрибкоподібне переміщення частинок під дією несучого середовища.

Модель 2 запропонував Бегнольд для оцінки масового горизонтального потоку часткової сальтації F_h ($\text{кг} \cdot \text{м} \text{ («бокового вітру»}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$) через швидкість тертя u_* ($\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$) :

$$F_h = C_h \cdot u_*^3 \quad (3.2.2.1)$$

Коефіцієнт пропорційності C_h сильно варіює залежно від характеристик ґрунту та поверхні. Відповідно до Gillette (1973), типове значення C_h становить близько 10^{-1} ($\text{кг} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-4}$).

Модель 3 розраховується за формолою (3.2.2.1), де залежність

коефіцієнта C_h від діаметра частинки d виражається у наступному вигляді:

$$C_h = C \left(\frac{d}{D}\right)^{1/2} \frac{\rho}{g}, \quad (3.2.2.2)$$

де, g - прискорення вільного падіння, ρ - щільність повітря, D - еталонний діаметр зерна 250 мкм, а C - емпірична постійна, рівна 1,5, 1,8 або 2,8 для однорідного піску, піску природного сортування і погано відсортованого піску .

Ця модель дозволяє прогнозувати потік сальтації над однорідним піщаним шаром, але не включає розгляд потоку суспензії дрібного пилу, який може бути присутнім у шарі. Модель підходить для такого застосування, як хвостосховище уранового заводу з піском.

Джиллетт, Бліффорд і Фенстер запропонували емпіричну формулу для прогнозування горизонтального потоку ґрунту на полі менше 16 000 футів:

$$F_h = 2 \frac{LX}{16,500} \left(\frac{\tau_e}{\tau_r}\right)^{3/2}, \quad (3.2.2.3)$$

де, F_h – горизонтальний потік ґрунту в тоннах на ширину стрижня на годину, L – довжина поля у футах, X – функція еродованості ґрунту, τ_e – ефективний потік імпульсу, τ_r – еталонний потік.

Дане рівняння стверджує, що горизонтальний потік лінійно збільшується з відстанню за вітром у полі через ефект «лавиноподібного» розпушення ґрунту, за рахунок стирання частинками, що падають з навітряного боку. Оскільки, потік імпульсу пов'язаний зі швидкістю опору

поверхні u_* співвідношенням $\tau = \rho u_*^2$, де ρ — щільність повітря, рівняння (3.2.2.3) узгоджується із залежністю u_*^3 у рівнянні (3.2.2.1).

Ефективний потік імпульсу τ_e — це фактичний потік імпульсу τ , скоригований на вологість поверхні ґрунту:

$$\tau_e = \tau - \alpha, \quad (3.2.2.4)$$

де, α — опір, спричинений зчепленням поглинутих опір зчеплення адсорбованих плівок води проти вітру. Відомо, що воно дорівнює $b (\omega/\omega')$, де ω — кількість води, що утримується в ґрунті, а ω' — кількість води, яка утримується тим самим ґрунтом при 15 - відсоток атмосфери. Відсоток 15 атмосфер є верхньою межею гігроскопічної води і приблизно відповідає відсотковому вмісту води в точці постійного в'янення рослин.

Ступінь еродованості (тобто ступінь втрати певної частини їх гумосового або перехідних горизонтів) ґрунту X визначається як:

$$X = \frac{al}{(R_v K_r)^b}, \quad (3.2.2.5)$$

де, l — безрозмірний індекс ерозійності ґрунту, заснований на частці маси ґрунту в частинках, більших за 840 мкм, R_v — кількість рослинних залишків (кг м^{-2}), K_r — поверхня еквівалент шорсткості (м), а a і b — емпіричні константи. Функція ерозійності ґрунту виражає те, що ґрунт є більш схильним до ерозії, чим менше ґрунт агломерований, чим менше присутнього рослинних залишків і чим менша шорсткість поверхні, яка має тенденцію утримувати рух ґрунту.

Якщо, залежність від довжини поля можна було б відкинути, то формула (3.2.5) мала б вигляд :

$$F_h = X \left(\frac{\tau_e}{\tau_r} \right)^{3/2} = X \left(\frac{u_*}{u_{*r}} \right)^3, \quad (3.2.2.6)$$

де, u_{*r} ($\text{см} \cdot \text{с}^{-1}$) — еталонна швидкість тертя для умов, коли було визначено формулювання для функції ерозійності ґрунту. Тревіс зазначив,

що Гілет використовував значення $3,31 \text{ N m}^{-2}$ для еталонного потоку τ_r . Відповідно, еталонну швидкість тертя u , можна було оцінити як $1,60 \text{ m s}^{-1}$.

Модель 4 обраховується на основі формули Гілет для горизонтального сальтаційного потоку у формі:

$$F_{hh} = C_h h u_*^3 \left(1 - \frac{u_{*t}}{u_*}\right). \quad (3.2.2.7)$$

У цій моделі передбачається, що сальтація відбудеться лише вище певної порогової швидкості тертя u_{*t} , коли ґрунт починає рухатися. Коли швидкість поверхневого тертя наближається до порогової швидкості тертя зверху, потік F_{hh} прагне до нуля.

Кок та інші вчені проаналізували різні підходи до оцінки горизонтального потоку сальтації. Вони показали, що потік маси сальтації можна отримати з балансу імпульсу в шарі сальтації, тобто, що сума горизонтальних потоків імпульсу від частинок і рідини дорівнює потоку імпульсу рідини у верхній частині шару сальтації. Рівняння для стаціонарного потоку маси сальтації залежить від довжини стрибка частинки L , середньої різниці між швидкостями удару та відриву Δv частинки та порогової швидкості тертя u_{*t} . Різні припущення про залежність L , Δv та u_{*t} від u_* призвели до різних рівнянь, що відносять F_{hh} до u_* . На основі цього аналізу Кок та інші запропонували формулу для F_{hh} у формі, яка і є Моделлю 5 в даному дослідженні:

$$F_{hh} = C_{DK} \frac{p_a}{g} u_{*t} u_*^2 \left(1 - \frac{u_{*t}}{u_*}\right) \quad (3.2.2.8)$$

де, p_a – густина повітря, а $C_{DK} \approx 5$ (безрозмірна константа)

Моделі викидів пилу, створюваних за механізмом сальтації, базуються на співвідношенні між горизонтальним потоком сальтації F_h (наприклад, оціненим за формулами (3.2.2.1)-(3.2.2.8)) та вертикальним масовим потоком пилу на поверхні (потік суспензії) F_v ($\text{кг} \cdot \text{m}^{-2} \text{c}^{-1}$).

Вчені використовують підхід до отримання виразу для F_v який полягає в припущенні, що вертикальний потік пилу пропорційний горизонтальному потоку сальтації:

$$F_v = \alpha \cdot F_h \quad (3.2.2.9)$$

де α – ефективність піскоструминної обробки, що залежить від висоти вимірювання зваженого пилу та стану ґрунту чи хвостів. Модель забезпечує оцінки сальтації та потоку вдихуваних частинок, але не потік усіх частинок у суспензії.

Міллс, Дальман і Олсон зробили висновок про значення α 10^{-5} м^{-1} для частинок діаметром від 0,4 до 6,0 мкм, зважених на висоті 3,75 м над сільськогосподарським ґрунтом. За іншими даними α порядку 10^{-5} – 10^{-2} м^{-1} .

Як і у випадку параметризації потоку маси сальтації, Кок та інші (2012) виділили основні чинники, які впливають на форму залежності вертикального потоку пилу F_v від u_* , а саме середню масу пилових аерозолів, утворених одиницею енергії удару, та середню швидкість удару сальтатора. Різна параметризація цих значень призвела до формули, запропонованих Шао, Раупахом і Фіндлатером і визначається Моделлю 6, як :

$$F_v = C_s \rho u_* (u_*^2 - u_{*t}^2) \quad (3.2.2.10)$$

ця ж формула за Кок та його колегами має наступний вигляд і задається Моделлю 7:

$$F_v = C_f \rho u_{*t} (u_*^2 - u_{*t}^2) \quad (3.2.2.11)$$

Модель 8 фундаментується на формулі Галет для потоку суспензії F_v на основі вимірювань, які були зроблені для частинок у діапазоні діаметрів від 2 до 20 мкм:

$$F_v = C_v \left(\frac{u_*^2}{u_{*t}^2} \right)^y, \quad (3.2.2.12)$$

де, $\gamma > 3$ і ϵ висотою ґрунтоспецифічністю, C_v є константою пропорційності. Те саме, що в рівнянні (3.2.2.7) потік дорівнює нулю за умови $u_* < u_{*c}$.

Тревіс оцінив константу C_v рівною 2×10^{-9} кг м⁻² с⁻¹ і γ як,

$$u_* = \frac{P}{3} + 3, \quad (3.2.2.13)$$

де, P — масовий відсоток частинок діаметром < 20 мкм у даному ґрунті.

Використовуючи дані Джиллета, Тревіс запропонував комбіновану модель для оцінки потоків солі та суспензії. Його важливою особливістю є спроба включити в модель характеристики підстильної поверхні. Беручи до уваги рівняння (3.2.6) і (3.2.7) він отримав рівняння для горизонтального потоку у вигляді:

$$F_h = X \left(\frac{u_{*e}}{u_{*t}} \right)^2 \left(\frac{u_{*e}}{u_{*r}} - \frac{u_{*e} t}{u_{*r}} \right), \quad (3.2.2.14)$$

Рівняння включає ефективну швидкість тертя u_{*c} , яка враховує вологість ґрунту та наявність великих елементів шорсткості (великі камені, рослини, дерева), які можуть зменшити швидкість тертя, що діє на ґрунт.

Рівняння для вертикального потоку в моделі має наступний вигляд :

$$F_v = F_h \left(\frac{C_v}{C_h u_{*t}^3} \right)^2 \left[\left(\frac{u_*}{u_{*t}} \right)^{P/3} - 1 \right], \quad (3.2.2.15)$$

Сміт зазначив деякі цікаві особливості цього формулювання. По-перше, коли масовий відсоток частинок < 20 мкм наближається до нуля, потік суспензії доводиться до нуля. По-друге, потік суспензії став функціонально залежним від потоку сальтації u_{*h} .

Модель 9 задається наступною формолою запропонованою Джиллетт і Пассі для вертикального потоку пилу F_{v0} :

$$F_v = C_*^4 \left[1 - \left(\frac{u_*}{u_{*t}} \right) \right], \quad (3.2.2.16)$$

Використовуючи свої дані вимірювань пилу Шав на інші (2008) оцінив значення формули (3.2.16), як $C=1.0 \cdot 10^{-5} \text{ кг м}^{-6} \text{ с}^{-3}$ і $u_{*t} = 0.2 \text{ м с}^{-1}$.

3.3 Обґрунтування вибору моделей для оцінки поля приземних концентрацій радіонуклідів

Для моделювання атмосферного переносу за рахунок вітрового підйому радіоактивного аерозолі з поверхні хвостосховищ проаналізовано сумісно дані про об'ємну активність в повітрі радіоактивного аерозолі з даними про вміст радіоактивних елементів в ґрунті.

Оскільки, моделі оцінюють підйом з невеликих площ (або точкових джерел), а дані повітрязабірних пристроїв прив'язані до середини хвостосховищ і розташовані не по всій її території, побудовано сітку (з визначеними координатами центрів) та накладено її на супутникову карту досліджуваних хвостовищ за допомогою програмного пакету Google Earth. Для визначення щільності забруднення в 5-ти см шарі ґрунту (див.рис 3.3.1) кожному квадратику було присвоєно номер. Щільність забруднення в 5-ти см шарі ґрунту була визначена в межах кожного квадратику, як середнє значення із визначених проб.



Рис.3.3.1 Просторовий розподіл джерел забруднення, визначених розбивкою території х/с «Баса С», «Сухачівське».

У (Додатку А) наведені матеріали спостережень щодо забруднення території хвостосховищ «База С» і «Сухачівське» радіоактивними елементами (U-238, Ra-226, Th-230, Pb-210) згідно просторового розподілу щільності забруднення 5-ти см шару ґрунту, які слугують одними з складових вхідних даних для моделювання.

Для того, щоб обрати найбільш репрезентативну модель для більш точного моделювання було змодельовано щогодинні об'ємні концентрації таких нуклідів як, U-238, Ra-226, Th-230, Pb-210 залежно від метеорологічних умов за досліджувані дати 15,16.09.2009р. та 14-15.10.2009р. та обраховано середньодобові їх значення, результати моделювання представлені нижче (див. табл 3.3.1-3.3.9)

Таблиця 3.3.1

Приземні об'ємні концентрації радіоактивного аерозолі (U-238) на х/с «Сухачівське» і «База С», та найближчих до них населених пунктах Бк/м³ 15.09.2009 р.

Назва населеного пункту, точки відбору проби	Модель №1	Модель №2	Модель №3	Модель №4	Модель №5	Модель №6	Модель №7	Модель №8	Модель №9
Горького	$1.7 \cdot 10^{-6}$	$4.4 \cdot 10^{-6}$	$3.2 \cdot 10^{-6}$	$3.6 \cdot 10^{-5}$	$5.8 \cdot 10^{-6}$	$1.0 \cdot 10^{-5}$	$8.8 \cdot 10^{-6}$	$2.4 \cdot 10^{-6}$	0
Таромське	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Світле	$1.1 \cdot 10^{-9}$	$1.1 \cdot 10^{-9}$	$8.5 \cdot 10^{-10}$	$9.4 \cdot 10^{-10}$	$1.4 \cdot 10^{-10}$	$2.6 \cdot 10^{-10}$	$2.2 \cdot 10^{-10}$	$6.2 \cdot 10^{-9}$	$1.9 \cdot 10^{-11}$
Карнаухівка	$1.1 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-12}$	$7.7 \cdot 10^{-13}$	$2.6 \cdot 10^{-11}$	$4.3 \cdot 10^{-27}$	$7.6 \cdot 10^{-27}$	$6.5 \cdot 10^{-27}$	$1.8 \cdot 10^{-25}$	0
Voz_S01	$2.9 \cdot 10^{-6}$	$5.5 \cdot 10^{-6}$	$4.1 \cdot 10^{-6}$	$4.5 \cdot 10^{-5}$	$6.2 \cdot 10^{-6}$	$1.2 \cdot 10^{-5}$	$9.4 \cdot 10^{-6}$	$2.3 \cdot 10^{-4}$	$1.6 \cdot 10^{-5}$
Voz_S02	$2.3 \cdot 10^{-6}$	$4.4 \cdot 10^{-6}$	$3.3 \cdot 10^{-6}$	$3.6 \cdot 10^{-5}$	$5.0 \cdot 10^{-6}$	$9.6 \cdot 10^{-6}$	$7.6 \cdot 10^{-6}$	$1.9 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-5}$
Voz_S03	$1.8 \cdot 10^{-6}$	$3.2 \cdot 10^{-6}$	$2.4 \cdot 10^{-6}$	$2.6 \cdot 10^{-5}$	$3.6 \cdot 10^{-6}$	$7.0 \cdot 10^{-6}$	$5.4 \cdot 10^{-6}$	$1.2 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-5}$
Voz_S04	$1.8 \cdot 10^{-6}$	$3.1 \cdot 10^{-6}$	$2.3 \cdot 10^{-6}$	$2.5 \cdot 10^{-5}$	$3.4 \cdot 10^{-6}$	$6.8 \cdot 10^{-6}$	$5.2 \cdot 10^{-6}$	$1.2 \cdot 10^{-4}$	$1.0 \cdot 10^{-5}$
Voz_BS01	$4.6 \cdot 10^{-5}$	$9.4 \cdot 10^{-5}$	$7.0 \cdot 10^{-5}$	$8.0 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-4}$	$2.1 \cdot 10^{-4}$	$1.7 \cdot 10^{-4}$	$39.4 \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$
Voz_BS02	$4.4 \cdot 10^{-5}$	$9.0 \cdot 10^{-5}$	$6.6 \cdot 10^{-5}$	$7.7 \cdot 10^{-4}$	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-4}$	$1.6 \cdot 10^{-4}$	$37.5 \cdot 10^{-4}$	$2.4 \cdot 10^{-4}$
Voz_BS03	$4.1 \cdot 10^{-5}$	$8.3 \cdot 10^{-5}$	$6.1 \cdot 10^{-5}$	$7.1 \cdot 10^{-4}$	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$1.9 \cdot 10^{-4}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$34.8 \cdot 10^{-4}$	$2.2 \cdot 10^{-4}$
Voz_BS04	$5.3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$7.5 \cdot 10^{-5}$	$7.1 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-4}$	$1.9 \cdot 10^{-4}$	$1.6 \cdot 10^{-4}$	$42.3 \cdot 10^{-4}$	$4.3 \cdot 10^{-5}$

Таблиця 3.3.2

Приземні об'ємні концентрації радіоактивного аерозолію (Ra-226) на х/с «Сухачівське» і «База С», та найближчих до них населених пунктах Бк/м³ 15.09.2009 р.

Назва населеного пункту, точки відбору проби	Модель № 1	Модель № 2	Модель № 3	Модель № 4	Модель № 5	Модель № 6	Модель № 7	Модель № 8	Модель № 9
Горького	1.6*10 ⁻⁶	4.9*10 ⁻⁶	3.7*10 ⁻⁶	4.6*10 ⁻⁵	7.4*10 ⁻⁶	1.3*10 ⁻⁵	1.1*10 ⁻⁵	2.9*10 ⁻⁴	0
Таромське	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Світле	1.3*10 ⁻⁸	1.3*10 ⁻⁸	9.8*10 ⁻⁹	3.1*10 ⁻⁹	1.0*10 ⁻¹⁰	2.0*10 ⁻¹⁰	1.6*10 ⁻¹⁰	3.8*10 ⁻⁹	2.2*10 ⁻¹⁰
Карнаухівка	3.7*10 ⁻¹¹	3.4*10 ⁻¹¹	2.5*10 ⁻¹¹	3.1*10 ⁻¹⁰	0	0	0	0	0
Voz_S01	2.1*10 ⁻⁵	5.2*10 ⁻⁵	5.3*10 ⁻⁵	5.6*10 ⁻⁴	7.7*10 ⁻⁵	1.5*10 ⁻⁴	1.1*10 ⁻⁴	25.7*10 ⁻⁴	2.6*10 ⁻⁴
Voz_S02	1.8*10 ⁻⁵	4.4*10 ⁻⁵	4.4*10 ⁻⁵	4.3*10 ⁻⁴	6.2*10 ⁻⁵	1.1*10 ⁻⁴	9.1*10 ⁻⁵	21.5*10 ⁻⁴	1.5*10 ⁻⁴
Voz_S03	9.0*10 ⁻⁶	1.8*10 ⁻⁵	2.5*10 ⁻⁵	2.1*10 ⁻⁴	2.8*10 ⁻⁵	5.7*10 ⁻⁵	4.0*10 ⁻⁵	8.0*10 ⁻⁴	1.5*10 ⁻⁴
Voz_S04	8.6*10 ⁻⁶	1.8*10 ⁻⁵	2.6*10 ⁻⁵	2.3*10 ⁻⁴	3.0*10 ⁻⁵	6.1*10 ⁻⁵	4.3*10 ⁻⁵	8.5*10 ⁻⁴	1.6*10 ⁻⁴
Voz_BS01	6.2*10 ⁻⁵	1.2*10 ⁻⁴	1.8*10 ⁻⁴	13.5*10 ⁻⁴	1.9*10 ⁻⁴	3.6*10 ⁻⁴	2.6*10 ⁻⁴	57.3*10 ⁻⁴	8.0*10 ⁻⁴
Voz_BS02	6.2*10 ⁻⁵	1.2*10 ⁻⁴	1.8*10 ⁻⁴	13.0*10 ⁻⁴	1.8*10 ⁻⁴	3.5*10 ⁻⁴	2.5*10 ⁻⁴	55.2*10 ⁻⁴	7.7*10 ⁻⁴
Voz_BS03	5.6*10 ⁻⁵	1.1*10 ⁻⁴	1.6*10 ⁻⁴	12.2*10 ⁻⁴	1.7*10 ⁻⁴	3.3*10 ⁻⁴	2.4*10 ⁻⁴	52.2*10 ⁻⁴	7.1*10 ⁻⁴
Voz_BS04	4.4*10 ⁻⁵	9.4*10 ⁻⁵	40.9*10 ⁻²	8.2*10 ⁻⁴	1.3*10 ⁻⁴	2.3*10 ⁻⁴	1.9*10 ⁻⁴	49.1*10 ⁻⁴	1.6*10 ⁻⁴

Таблиця 3.3.3

Приземні об'ємні концентрації радіоактивного аерозолію (Pb-210) на х/с «Сухачівське» і «База С», та найближчих до них населених пунктах Бк/м³ 15.09.2009 р.

Назва населеного пункту, точки відбору проби	Модель № 1	Модель № 2	Модель № 3	Модель № 4	Модель № 5	Модель № 6	Модель № 7	Модель № 8	Модель № 9
Горького	1.1*10 ⁻⁶	3.6*10 ⁻⁶	2.7*10 ⁻⁶	3.0*10 ⁻⁵	4.6*10 ⁻⁶	8.2*10 ⁻⁶	7.0*10 ⁻⁶	1.8*10 ⁻⁴	6.4*10 ⁻⁵
Таромське	0	0	0	0	8.5*10 ⁻¹⁴	0	0	0	0
Світле	1.0*10 ⁻⁸	7.3*10 ⁻⁹	7.0*10 ⁻⁹	1.8*10 ⁻⁹	1.0*10 ⁻¹⁰	1.1*10 ⁻¹⁰	2.0*10 ⁻⁹	2.5*10 ⁻⁹	1.3*10 ⁻¹⁰
Карнаухівка	2.5*10 ⁻¹¹	1.6*10 ⁻¹¹	1.6*10 ⁻¹¹	3.1*10 ⁻¹⁰	2.7*10 ⁻⁶	0	0	0	0
Voz_S01	1.9*10 ⁻⁵	5.5*10 ⁻⁵	6.8*10 ⁻⁵	3.4*10 ⁻⁴	4.9*10 ⁻⁵	9.4*10 ⁻⁵	2.0*10 ⁻⁴	16.4*10 ⁻⁴	3.1*10 ⁻⁴
Voz_S02	1.5*10 ⁻⁵	3.2*10 ⁻⁵	3.8*10 ⁻⁵	2.9*10 ⁻⁴	4.2*10 ⁻⁵	7.7*10 ⁻⁵	1.4*10 ⁻⁴	14.4*10 ⁻⁴	3.8*10 ⁻⁴
Voz_S03	7.9*10 ⁻⁶	1.2*10 ⁻⁵	2.2*10 ⁻⁵	1.4*10 ⁻⁴	1.9*10 ⁻⁵	3.8*10 ⁻⁵	1.0*10 ⁻⁴	5.4*10 ⁻⁴	9.8*10 ⁻⁵
Voz_S04	7.9*10 ⁻⁶	1.2*10 ⁻⁵	2.3*10 ⁻⁵	1.6*10 ⁻⁴	3.0*10 ⁻⁵	4.1*10 ⁻⁵	1.1*10 ⁻⁴	5.8*10 ⁻⁴	1.0*10 ⁻⁴
Voz_BS01	5.4*10 ⁻⁵	1.1*10 ⁻⁴	1.5*10 ⁻⁴	9.6*10 ⁻⁴	1.3*10 ⁻⁴	2.5*10 ⁻⁴	6.1*10 ⁻⁴	39.5*10 ⁻⁴	6.3*10 ⁻⁴

Продовження таблиці 3.3.3

Voz_BS02	$5.3 \cdot 10^{-5}$	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$9.2 \cdot 10^{-4}$	$1.2 \cdot 10^{-4}$	$2.4 \cdot 10^{-4}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$38.0 \cdot 10^{-4}$	$6.0 \cdot 10^{-4}$
Voz_BS03	$4.9 \cdot 10^{-5}$	$1.1 \cdot 10^{-4}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$8.5 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-4}$	$2.2 \cdot 10^{-4}$	$5.4 \cdot 10^{-4}$	$36.0 \cdot 10^{-4}$	$5.5 \cdot 10^{-4}$
Voz_BS04	$3.0 \cdot 10^{-5}$	$9.6 \cdot 10^{-5}$	$8.9 \cdot 10^{-5}$	$5.2 \cdot 10^{-4}$	$7.8 \cdot 10^{-5}$	$1.4 \cdot 10^{-4}$	$1.7 \cdot 10^{-4}$	$29.0 \cdot 10^{-4}$	$4.6 \cdot 10^{-4}$

Таблиця 3.3.4

Приземні об'ємні концентрації радіоактивного аерозолю (U-238) на х/с «Сухачівське» і «База С», та найближчих до них населених пунктах Бк/м³ 16.09.2009 р.

Назва населеного пункту, точки відбору проби	Модель № 1	Модель № 2	Модель № 3	Модель № 4	Модель № 5	Модель № 6	Модель № 7	Модель № 8	Модель № 9
Горького	$6.6 \cdot 10^{-12}$	$2.0 \cdot 10^{-11}$	$1.5 \cdot 10^{-11}$	$3.8 \cdot 10^{-10}$	$4.0 \cdot 10^{-11}$	$9.5 \cdot 10^{-11}$	$6.1 \cdot 10^{-11}$	$1.0 \cdot 10^{-10}$	$3.3 \cdot 10^{-10}$
Таромське	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Світле	$1.6 \cdot 10^{-19}$	$5.1 \cdot 10^{-11}$	$3.7 \cdot 10^{-19}$	$4.6 \cdot 10^{-18}$	$7.4 \cdot 10^{-19}$	$1.3 \cdot 10^{-18}$	$1.1 \cdot 10^{-18}$	$2.9 \cdot 10^{-18}$	0
Карнаухівка	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Voz_S01	$5.3 \cdot 10^{-7}$	$1.6 \cdot 10^{-6}$	$1.2 \cdot 10^{-6}$	$2.5 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$6.2 \cdot 10^{-6}$	$4.5 \cdot 10^{-6}$	$9.0 \cdot 10^{-5}$	$1.6 \cdot 10^{-5}$
Voz_S02	$1.1 \cdot 10^{-7}$	$5.2 \cdot 10^{-7}$	$3.9 \cdot 10^{-7}$	$8.9 \cdot 10^{-6}$	$1.0 \cdot 10^{-6}$	$2.0 \cdot 10^{-6}$	$1.6 \cdot 10^{-6}$	$3.2 \cdot 10^{-5}$	$4.9 \cdot 10^{-6}$
Voz_S03	$1.6 \cdot 10^{-7}$	$7.2 \cdot 10^{-7}$	$5.3 \cdot 10^{-7}$	$1.2 \cdot 10^{-6}$	$1.4 \cdot 10^{-6}$	$2.7 \cdot 10^{-6}$	$2.1 \cdot 10^{-6}$	$4.3 \cdot 10^{-5}$	$6.8 \cdot 10^{-6}$
Voz_S04	$1.4 \cdot 10^{-7}$	$7.2 \cdot 10^{-7}$	$5.3 \cdot 10^{-7}$	$1.3 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-6}$	$2.9 \cdot 10^{-6}$	$2.3 \cdot 10^{-6}$	$4.4 \cdot 10^{-5}$	$7.6 \cdot 10^{-6}$
Voz_BS01	$3.5 \cdot 10^{-5}$	$1.4 \cdot 10^{-4}$	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$25.1 \cdot 10^{-4}$	$2.9 \cdot 10^{-4}$	$5.7 \cdot 10^{-4}$	$4.4 \cdot 10^{-4}$	$8.6 \cdot 10^{-3}$	$15.0 \cdot 10^{-4}$
Voz_BS02	$3.6 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-4}$	$25.9 \cdot 10^{-4}$	$3.0 \cdot 10^{-4}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$9.0 \cdot 10^{-3}$	$15.4 \cdot 10^{-4}$
Voz_BS03	$3.6 \cdot 10^{-5}$	$1.4 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-4}$	$25.0 \cdot 10^{-4}$	$2.9 \cdot 10^{-4}$	$5.8 \cdot 10^{-4}$	$4.4 \cdot 10^{-4}$	$8.8 \cdot 10^{-3}$	$14.8 \cdot 10^{-4}$
Voz_BS04	$3.9 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-4}$	$26.3 \cdot 10^{-4}$	$3.0 \cdot 10^{-4}$	$6.1 \cdot 10^{-4}$	$4.6 \cdot 10^{-4}$	$8.9 \cdot 10^{-3}$	$16.6 \cdot 10^{-4}$

Таблиця 3.3.5

Приземні об'ємні концентрації радіоактивного аерозолю (Ra-226) на х/с «Сухачівське» і «База С», та найближчих до них населених пунктах Бк/м³ 16.09.2009 р.

Назва населеного пункту, точки відбору проби	Модель № 1	Модель № 2	Модель № 3	Модель № 4	Модель № 5	Модель № 6	Модель № 7	Модель № 8	Модель № 9
Горького	8.1*10 ⁻¹²	2.3*10 ⁻¹¹	1.7*10 ⁻¹⁰	4.4*10 ⁻¹⁰	4.6*10 ⁻¹¹	1.0*10 ⁻¹⁰	7.0*10 ⁻¹¹	1.2*10 ⁻⁹	3.8*10 ⁻¹⁰
Таромське	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Світле	2.3*10 ⁻¹⁸	7.1*10 ⁻¹⁸	5.3*10 ⁻¹⁸	6.5*10 ⁻¹⁷	1.0*10 ⁻¹⁷	1.8*10 ⁻¹⁷	1.5*10 ⁻¹⁷	4.1*10 ⁻¹⁶	0
Карнаухівка	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Voz_S01	1.1*10 ⁻⁵	2.8*10 ⁻⁵	2.2*10 ⁻⁵	4.3*10 ⁻⁴	5.1*10 ⁻⁵	1.1*10 ⁻⁴	7.7*10 ⁻⁵	1.5*10 ⁻³	2.8*10 ⁻⁴
Voz_S02	1.5*10 ⁻⁶	4.0*10 ⁻⁶	3.0*10 ⁻⁶	6.5*10 ⁻⁵	7.9*10 ⁻⁶	1.6*10 ⁻⁵	1.1*10 ⁻⁵	2.4*10 ⁻⁴	3.9*10 ⁻⁵
Voz_S03	1.7*10 ⁻⁶	4.5*10 ⁻⁶	3.4*10 ⁻⁶	7.4*10 ⁻⁵	8.9*10 ⁻⁶	1.8*10 ⁻⁵	1.3*10 ⁻⁵	2.7*10 ⁻⁴	4.5*10 ⁻⁵
Voz_S04	1.8*10 ⁻⁶	1.2*10 ⁻⁵	8.1*10 ⁻⁶	7.7*10 ⁻⁵	9.4*10 ⁻⁶	2.7*10 ⁻⁵	1.4*10 ⁻⁵	6.0*10 ⁻⁴	4.9*10 ⁻⁵
Voz_BS01	4.7*10 ⁻⁵	14.5*10 ⁻⁵	10.4*10 ⁻⁵	2.6*10 ⁻³	2.9*10 ⁻⁴	6.4*10 ⁻⁴	5.3*10 ⁻²	8.7*10 ⁻³	1.8*10 ⁻³
Voz_BS02	5.1*10 ⁻⁵	15.7*10 ⁻⁵	12.1*10 ⁻⁵	2.8*10 ⁻³	3.1*10 ⁻⁴	6.7*10 ⁻⁴	4.7*10 ⁻⁴	9.0*10 ⁻³	2.0*10 ⁻³
Voz_BS03	5.2*10 ⁻⁵	16.0*10 ⁻⁵	12.4*10 ⁻⁵	2.8*10 ⁻³	3.1*10 ⁻⁴	6.7*10 ⁻⁴	4.8*10 ⁻⁴	9.2*10 ⁻³	2.0*10 ⁻³
Voz_BS04	5.7*10 ⁻⁵	16.8*10 ⁻⁵	13.3*10 ⁻⁵	3.0*10 ⁻³	2.0*10 ⁻⁴	6.4*10 ⁻⁴	5.0*10 ⁻⁴	9.5*10 ⁻³	2.1*10 ⁻³

Таблиця 3.3.6

Приземні об'ємні концентрації радіоактивного аерозолю (Pb-210) на х/с «Сухачівське» і «База С», та найближчих до них населених пунктах Бк/м³ 16.09.2009 р.

Назва населеного пункту, точки відбору проби	Модель № 1	Модель № 2	Модель № 3	Модель № 4	Модель № 5	Модель № 6	Модель № 7	Модель № 8	Модель № 9
Горького	6.3*10 ⁻¹²	1.8*10 ⁻¹¹	1.4*10 ⁻¹¹	3.4*10 ⁻¹⁰	3.6*10 ⁻¹¹	8.5*10 ⁻¹¹	5.5*10 ⁻¹¹	9.3*10 ⁻¹⁰	3.0*10 ⁻¹⁰
Таромське	0	0	0	0	0	0	0	5.0*10 ⁻²²	0
Світле	1.0*10 ⁻⁸	5.1*10 ⁻¹⁸	3.8*10 ⁻¹⁸	4.6*10 ⁻¹⁷	7.4*10 ⁻¹⁸	1.3*10 ⁻¹⁷	1.1*10 ⁻¹⁷	2.9*10 ⁻¹⁶	0
Карнаухівка	1.0*10 ⁻⁸	0	0	0	0	0	0	0	0
Voz_S01	1.1*10 ⁻⁵	2.1*10 ⁻⁵	1.6*10 ⁻⁵	3.3*10 ⁻⁴	3.9*10 ⁻⁵	8.4*10 ⁻⁵	5.9*10 ⁻⁵	1.0*10 ⁻³	2.2*10 ⁻⁴
Voz_S02	4.0*10 ⁻⁶	3.3*10 ⁻⁶	2.5*10 ⁻⁶	5.5*10 ⁻⁵	6.6*10 ⁻⁶	1.4*10 ⁻⁵	1*10 ⁻⁵	1.7*10 ⁻⁴	3.4*10 ⁻⁵
Voz_S03	5.0*10 ⁻⁶	3.9*10 ⁻⁶	3.0*10 ⁻⁶	6.6*10 ⁻⁵	7.8*10 ⁻⁶	1.6*10 ⁻⁵	1.1*10 ⁻⁵	2.1*10 ⁻⁴	4.2*10 ⁻⁵
Voz_S04	1.1*10 ⁻⁵	4.1*10 ⁻⁶	3.1*10 ⁻⁶	3.0*10 ⁻⁴	8.3*10 ⁻⁶	1.7*10 ⁻⁵	1.2*10 ⁻⁵	9.7*10 ⁻⁴	4.6*10 ⁻⁵
Voz_BS01	2.2*10 ⁻⁴	1.1*10 ⁻⁴	8.4*10 ⁻⁵	2.0*10 ⁻³	2.2*10 ⁻⁴	4.9*10 ⁻⁴	3.3*10 ⁻⁴	5.4*10 ⁻³	1.4*10 ⁻³
Voz_BS02	2.3*10 ⁻⁴	1.2*10 ⁻⁴	9.2*10 ⁻⁵	2.1*10 ⁻³	2.4*10 ⁻⁴	5.2*10 ⁻⁴	3.6*10 ⁻⁴	6.4*10 ⁻³	1.5*10 ⁻³
Voz_BS03	2.3*10 ⁻⁴	1.2*10 ⁻⁴	9.5*10 ⁻⁵	2.1*10 ⁻³	2.4*10 ⁻⁴	5.3*10 ⁻⁴	3.6*10 ⁻⁴	6.5*10 ⁻³	1.5*10 ⁻³
Voz_BS04	1.3*10 ⁻⁴	1.3*10 ⁻⁴	6.6*10 ⁻²	2.3*10 ⁻³	2.5*10 ⁻⁴	5.4*10 ⁻⁴	3.7*10 ⁻⁴	6.7*10 ⁻³	1.6*10 ⁻³

Таблиця 3.3.7

Приземні об'ємні концентрації радіоактивного аерозолю (U-238) на х/с «Сухачівське» і «База С», та найближчих до них населених пунктах Бк/м³ 14-15.10.2009 р.

U-238	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Горького	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Таромське	1.6*10 ⁻⁵	8.9*10 ⁻⁵	6.0*10 ⁻⁴	3.2*10 ⁻³	2.6*10 ⁻⁴	7.0*10 ⁻⁴	1.1*10 ⁻³	8.1*10 ⁻³	11.6*10 ⁻³
Світле	3.3*10 ⁻⁸	4.4*10 ⁻⁷	3.3*10 ⁻⁷	1.4*10 ⁻⁵	1.1*10 ⁻⁶	3.2*10 ⁻⁶	1.6*10 ⁻⁶	3.0*10 ⁻⁵	2.6*10 ⁻⁵
Карнаухівка	5.6*10 ⁻⁸	7.7*10 ⁻⁷	9.1*10 ⁻⁷	3.2*10 ⁻⁵	1.8*10 ⁻⁶	5.8*10 ⁻⁶	3.2*10 ⁻⁶	5.5*10 ⁻⁵	7.5*10 ⁻⁵
Voz_S01	1.4*10 ⁻⁶	9.7*10 ⁻⁶	4.5*10 ⁻⁵	3.4*10 ⁻⁴	2.6*10 ⁻⁵	7.4*10 ⁻⁵	9.5*10 ⁻⁵	8.1*10 ⁻⁴	1.0*10 ⁻³
Voz_S02	1.2*10 ⁻⁶	8.2*10 ⁻⁶	3.9*10 ⁻⁵	2.9*10 ⁻⁴	2.2*10 ⁻⁵	6.3*10 ⁻⁵	8.3*10 ⁻⁵	6.9*10 ⁻⁴	9.5*10 ⁻⁴
Voz_S03	1.4*10 ⁻⁶	1.7*10 ⁻⁵	4.3*10 ⁻⁵	7.0*10 ⁻⁴	4.2*10 ⁻⁵	1.4*10 ⁻⁴	1.0*10 ⁻⁴	1.3*10 ⁻³	2.0*10 ⁻³
Voz_S04	9.0*10 ⁻⁶	6.1*10 ⁻⁵	3.0*10 ⁻⁴	2.5*10 ⁻³	1.6*10 ⁻⁴	4.8*10 ⁻⁴	6.3*10 ⁻⁴	5.2*10 ⁻³	8.7*10 ⁻³
Voz_BS01	9.3*10 ⁻⁵	6.9*10 ⁻⁴	3.0*10 ⁻³	25.5*10 ⁻³	1.8*10 ⁻³	5.4*10 ⁻³	6.5*10 ⁻³	5.7*10 ⁻²	81.4*10 ⁻³
Voz_BS02	1.1*10 ⁻⁴	8.4*10 ⁻⁴	3.7*10 ⁻³	30.6*10 ⁻³	2.2*10 ⁻³	6.6*10 ⁻³	7.9*10 ⁻³	7.0*10 ⁻²	96.8*10 ⁻³
Voz_BS03	4.1*10 ⁻⁶	7.6*10 ⁻⁵	6.6*10 ⁻⁵	2.8*10 ⁻³	1.7*10 ⁻⁴	6.0*10 ⁻⁴	2.8*10 ⁻⁴	5.4*10 ⁻³	7.0*10 ⁻³
Voz_BS04	2.5*10 ⁻⁷	2.5*10 ⁻⁷	8.4*10 ⁻⁷	7.9*10 ⁻⁶	1.1*10 ⁻⁶	2.1*10 ⁻⁶	1.9*10 ⁻⁶	4.6*10 ⁻⁵	2.6*10 ⁻⁶

Таблиця 3.3.8

Приземні об'ємні концентрації радіоактивного аерозолю (Ra-226) на х/с «Сухачівське» і «База С», та найближчих до них населених пунктах Бк/м³ 14-15.10.2009 р.

Ra-226	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Горького	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Таромське	4.0*10 ⁻⁶	8.3*10 ⁻⁵	6.6*10 ⁻⁵	3.7*10 ⁻³	1.7*10 ⁻⁴	7.4*10 ⁻⁴	2.9*10 ⁻⁴	6.3*10 ⁻³	13.2*10 ⁻³
Світле	6.2*10 ⁻⁵	5.2*10 ⁻⁶	4.6*10 ⁻⁶	1.9*10 ⁻⁴	1.4*10 ⁻⁵	4.5*10 ⁻⁵	2.3*10 ⁻⁵	4.2*10 ⁻⁴	3.4*10 ⁻⁴
Карнаухівка	3.2*10 ⁻⁵	7.1*10 ⁻⁶	5.9*10 ⁻⁶	2.1*10 ⁻⁴	2.5*10 ⁻⁵	6.2*10 ⁻⁵	2.9*10 ⁻⁵	5.6*10 ⁻⁴	9.7*10 ⁻⁴
Voz_S01	2.0*10 ⁻⁴	1.2*10 ⁻⁴	1.0*10 ⁻⁴	5.0*10 ⁻³	2.8*10 ⁻⁴	11.1*10 ⁻⁴	4.7*10 ⁻⁴	9.8*10 ⁻³	17. *10 ⁻³
Voz_S02	1.2*10 ⁻⁴	1.1*10 ⁻⁴	8.8*10 ⁻⁵	4.3*10 ⁻³	2.3*10 ⁻⁴	9.4*10 ⁻⁴	4.0*10 ⁻⁴	8.3*10 ⁻³	15.1*10 ⁻³
Voz_S03	1.1*10 ⁻⁴	1.2*10 ⁻⁴	1.0*10 ⁻⁴	4.4*10 ⁻³	2.9*10 ⁻⁴	1.1 *10 ⁻³	4.5*10 ⁻⁴	9.7*10 ⁻³	17.4*10 ⁻³
Voz_S04	3.7*10 ⁻⁴	2.5*10 ⁻⁴	2.0*10 ⁻⁴	10.1*10 ⁻³	5.9*10 ⁻⁴	2.2*10 ⁻³	9.4*10 ⁻⁴	19.5*10 ⁻³	36.6*10 ⁻³
Voz_BS01	10.1*10 ⁻⁴	5.9*10 ⁻⁴	4.8*10 ⁻⁴	23.9*10 ⁻³	13.6*10 ⁻⁴	5.2*10 ⁻³	22.7*10 ⁻⁴	46.2*10 ⁻³	83.8*10 ⁻³
Voz_BS02	13.8*10 ⁻⁴	7.2*10 ⁻⁴	5.4*10 ⁻⁴	29.2*10 ⁻³	15.9*10 ⁻⁴	6.4*10 ⁻³	2.7*10 ⁻³	56.2*10 ⁻³	99.9*10 ⁻³
Voz_BS03	3.5*10 ⁻⁶	6.9*10 ⁻⁵	5.1*10 ⁻⁵	2.6*10 ⁻³	1.6*10 ⁻⁴	5.5*10 ⁻⁴	2.4*10 ⁻⁴	4.9*10 ⁻³	6.5*10 ⁻³
Voz_BS04	1.9*10 ⁻⁷	6.2*10 ⁻⁷	4.6*10 ⁻⁷	6.3*10 ⁻⁶	9.7*10 ⁻⁷	1.7*10 ⁻⁶	12.0*10 ⁻²	3.6*10 ⁻⁵	2.3*10 ⁻⁶

Таблиця 3.3.9

Приземні об'ємні концентрації радіоактивного аерозолі (Pb-210) на х/с «Сухачівське» і «База С», та найближчих до них населених пунктах Бк/м³ 14-15.10.2009 р.

Pb-210	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Горького	0	1.9*10 ⁻⁶	0	0	0	0	0	0	0
Гаромське	2.6*10 ⁻⁶	5.7*10 ⁻⁵	4.4*10 ⁻⁵	2.1*10 ⁻³	1.7*10 ⁻⁴	4.4*10 ⁻⁴	7.6*10 ⁻⁴	4.8*10 ⁻³	7.5*10 ⁻³
Світле	3.3*10 ⁻⁷	4.5*10 ⁻⁶	3.3*10 ⁻⁶	1.4*10 ⁻⁴	3.4*10 ⁻⁵	2.8*10 ⁻⁵	1.9*10 ⁻⁵	2.7*10 ⁻⁴	2.6*10 ⁻⁴
Карнаухівка	3.2*10 ⁻⁷	8.5*10 ⁻⁶	4.2*10 ⁻⁶	2.0*10 ⁻⁴	2.4*10 ⁻⁵	4.2*10 ⁻⁵	2.6*10 ⁻⁵	4.0*10 ⁻⁴	5.6*10 ⁻⁴
Voz_S01	5.9*10 ⁻⁶	9.9*10 ⁻⁵	7.4*10 ⁻⁵	3.4*10 ⁻³	3.4*10 ⁻⁴	7.2*10 ⁻⁴	10.1*10 ⁻⁴	8.0*10 ⁻³	11.0*10 ⁻³
Voz_S02	5.0*10 ⁻⁶	8.4*10 ⁻⁵	6.2*10 ⁻⁵	2.9*10 ⁻³	2.7*10 ⁻⁴	6.1*10 ⁻⁴	8.7*10 ⁻⁴	6.9*10 ⁻³	9.5*10 ⁻³
Voz_S03	5.2*10 ⁻⁶	1.0*10 ⁻⁴	6.9*10 ⁻⁵	3.5*10 ⁻³	2.9*10 ⁻⁴	7.3*10 ⁻⁴	9.0*10 ⁻⁴	7.8*10 ⁻³	11.1*10 ⁻³
Voz_S04	1.1*10 ⁻⁵	1.9*10 ⁻⁴	1.5*10 ⁻⁴	6.9*10 ⁻³	6.3*10 ⁻⁴	1.4*10 ⁻³	1.9*10 ⁻³	16.0*10 ⁻³	22.6*10 ⁻³
Voz_BS01	1.8*10 ⁻⁵	3.4*10 ⁻⁴	2.6*10 ⁻⁴	12.4*10 ⁻³	11.8*10 ⁻⁴	2.5*10 ⁻³	3.2*10 ⁻³	27.8*10 ⁻³	39.6*10 ⁻³
Voz_BS02	1.8*10 ⁻⁵	4.1*10 ⁻⁴	2.9*10 ⁻⁴	15.1*10 ⁻³	14.7*10 ⁻⁴	3.1*10 ⁻³	3.9*10 ⁻³	33.8*10 ⁻³	48.0*10 ⁻³
Voz_BS03	1.9*10 ⁻⁶	3.7*10 ⁻⁵	2.7*10 ⁻⁵	1.3*10 ⁻³	8.6*10 ⁻⁵	2.9*10 ⁻⁴	3.0*10 ⁻⁴	2.6*10 ⁻³	3.4*10 ⁻³
Voz_BS04	1.1*10 ⁻⁷	4.0*10 ⁻⁷	2.9*10 ⁻⁷	4.0*10 ⁻⁶	5.8*10 ⁻⁷	9.7*10 ⁻⁷	1.0*10 ⁻⁶	2.2*10 ⁻⁵	9.5*10 ⁻⁷

Для аналізу особливостей зміни концентрації нуклідів в атмосфері на досліджуваній території розташованих повітродувок «База С» - Voz_S01 та «Сухачівське» - Voz_BS01 було побудовано графіки (рис.3.3.2-3.3.6) добового ходу за даними моделювання вітрого підйому .



Рис. 3.3.2 Графік добового ходу U-238 ("Модель 1" (Voz_S01)15.09.2009р.)

Згідно з графіком добового ходу забруднюючої домішки урану (U-238) максимальне значення зафіксоване о 20:00 год - $9,58E-06$ Бк/м³ при швидкості вітру - 3 м/с, а мінімальне о 12:00год - $6,11E-07$ Бк/м³ при швидкості вітру 3м/с.

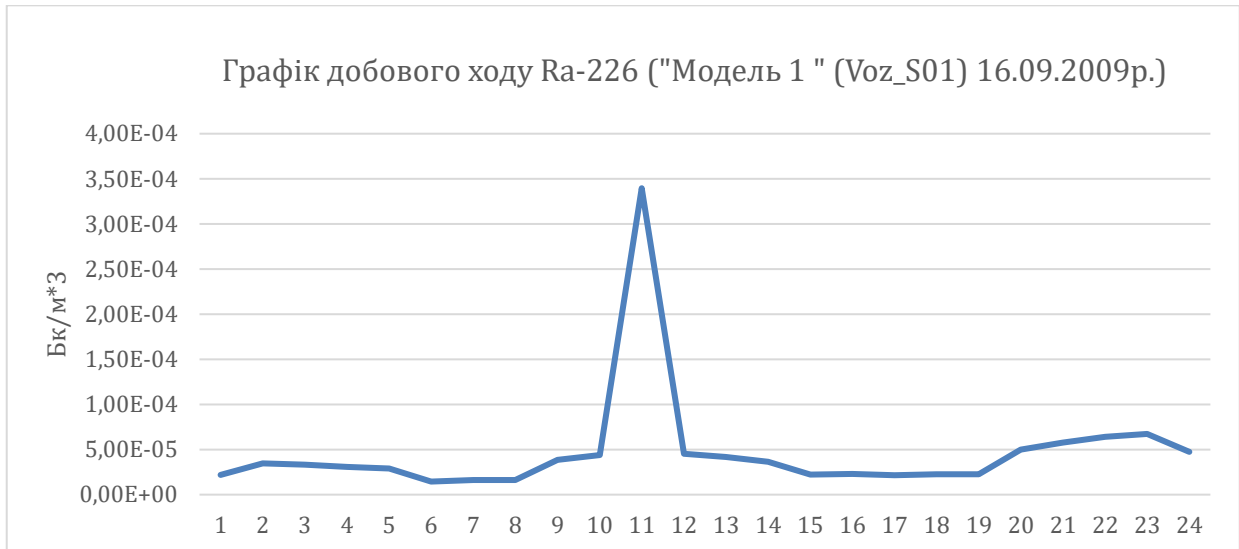


Рис.3.3.3 Графік добового ходу Ra-226 ("Модель 1" (Voz_S01)16.09.2009р.)

Зафіксовано одне максимальне значення концентрації отримане об 11 год і становить $3,40E-04$ Бк/м³ при швидкості вітру 3м/с, ймовірно саме в цей час вітер дув саме в задану точку.

Аналізуючи попередні графіки, можна прослідкувати більш згладжені криві добового ходу першої моделі, оскільки її концентрації залежать лише від напрямку вітру (коефіцієнт ресуспензії - сталий), на відміну від всіх усіх інших моделей, де враховується, як швидкість, так і напрямок вітру.

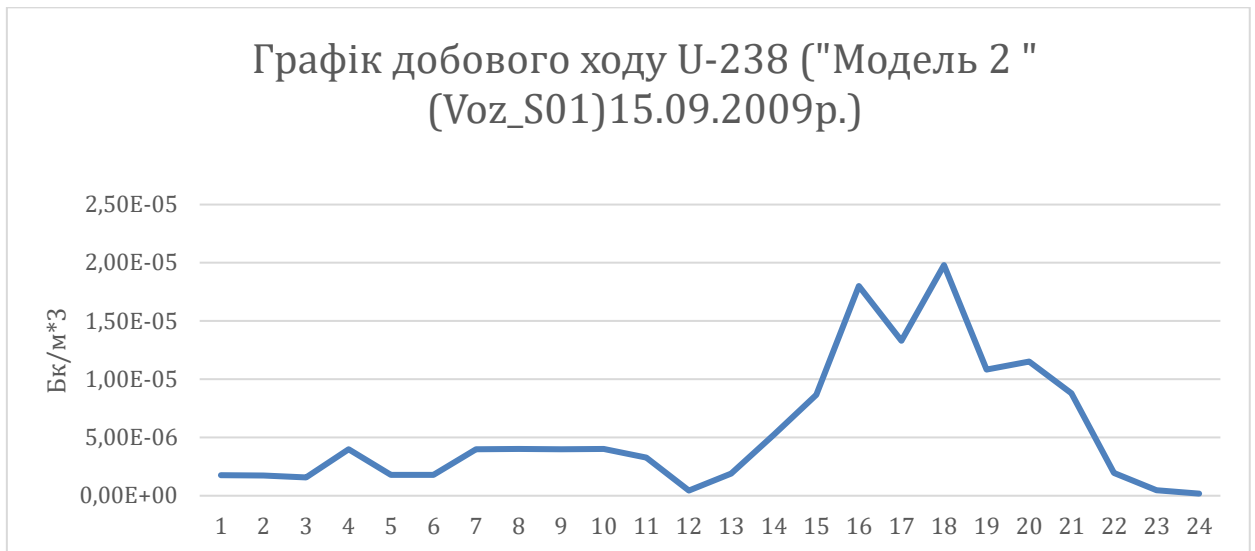


Рис.3.3.4 Графік добового ходу U-238 ("Модель 2" (Voz_S01)15.09.2009р.)

На графіку добового ходу U-238 "Модель 2" прослідковується два найвищих значення концентрації радіоактивного аерозолю $1,98E-05$ Бк/м³ о 18:00 год при швидкості вітру 2м/с і напрямку вітру 88° та $1,33E-05$ Бк/м³ о 16:00 год при напрямку вітру 85° і його швидкості - 3м/с. Мінімальне значення зафіксоване о 23:00 год - $1,81E-07$ при швидкості вітру – 2м/с та напрямку 53°.



Рис.3.3.5 Графік добового ходу U-238 ("Модель 6" (Voz_S01) 14-15.10.2009р.)

Графік добового ходу U-238 "Модель 6" демонструє отримане максимальне значення о 13:00 год і становить $1,93E-04$ Бк/м³ при цьому швидкість вітру рівна 8 м/с, а мінімальне добове значення концентрації - $0,00E+00$ Бк/м³ тобто вітрове перенесення відсутнє.



Рис.3.3.6 Графік добового ходу U-238 ("Модель 8 " (Voz_BS01) 14-15.10.2009р.)

Згідно графіку максимальне значення зафіксоване - $1,09E-01$ Бк/м³ о 15:00 год при максимальній добовій швидкості вітру – 8м/с і мінімальне значення спостерігається о 21:00 год $9,16E-03$ Бк/м³ при найменшій швидкості вітру 2м/с.

Проаналізувавши графіки можна сказати, що чим більша швидкість вітру, тим більший коефіцієнт вітрового підйому.

Усереднені значення даних спостережень за радіоактивним аерозолем в повітрі наведені в табл. 3.3.10. У таблиці додатково представлені значення допустимих концентрацій радіоактивних елементів (U-238, Ra-226, Pb-210) в повітрі при їх інгаляційному надходженні при формуванні дозових навантажень на людину.

Таблиця 3.3.10

Середні та допустимі концентрації радіоактивного аерозолю на х/с «Сухачівське» і «База С», Бк/м³.

Дата	Місцевідбору проб р/а	U-238	Ra-226	Pb-210
15.09.2009	Voz_BS01	$2,39 \cdot 10^{-4}$	$5,19 \cdot 10^{-4}$	$2,14 \cdot 10^{-3}$
	Voz_BS02	$3,26 \cdot 10^{-4}$	$26,07 \cdot 10^{-4}$	$2,25 \cdot 10^{-3}$
	Voz_BS03	$1,97 \cdot 10^{-4}$	$4,24 \cdot 10^{-4}$	$1,72 \cdot 10^{-3}$
	Voz_BS04	$2,20 \cdot 10^{-4}$	$2,06 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$
	Середні	$2,45 \cdot 10^{-4}$	$4,65 \cdot 10^{-4}$	$2,03 \cdot 10^{-3}$
	Середні / ДК _В (у частках)	$8,19 \cdot 10^{-2}$	$6,64 \cdot 10^{-1}$	$4,07 \cdot 10^{-1}$
	Середні / ДК _А (у частках)	$6,14 \cdot 10^{-4}$	$7,74 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-2}$
16.09.2009	Voz_BS01	$7,7 \cdot 10^{-5}$	$9,4 \cdot 10^{-5}$	$1,69 \cdot 10^{-3}$
	Voz_BS02	$4,6 \cdot 10^{-5}$	$10,0 \cdot 10^{-5}$	$1,39 \cdot 10^{-3}$
	Voz_BS03	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$	$1,41 \cdot 10^{-3}$
	Середні	$5,53 \cdot 10^{-5}$	$8,83 \cdot 10^{-5}$	$1,50 \cdot 10^{-3}$
	Середні / ДК _В (у частках)	$1,84 \cdot 10^{-2}$	$1,26 \cdot 10^{-1}$	$3,00 \cdot 10^{-1}$
	Середні / ДК _А (у частках)	$1,38 \cdot 10^{-4}$	$1,47 \cdot 10^{-3}$	$7,51 \cdot 10^{-3}$
14-15.10.2009	Voz_S01	$15,8 \cdot 10^{-5}$	$3,93 \cdot 10^{-3}$	$3,27 \cdot 10^{-3}$
	Voz_S02	$6,8 \cdot 10^{-5}$	$3,21 \cdot 10^{-3}$	$2,77 \cdot 10^{-3}$
	Voz_S03	$5,7 \cdot 10^{-5}$	$2,23 \cdot 10^{-3}$	$2,04 \cdot 10^{-3}$
	Voz_S04	$5,3 \cdot 10^{-5}$	$1,49 \cdot 10^{-3}$	$1,46 \cdot 10^{-3}$
	Середні	$8,4 \cdot 10^{-5}$	$2,72 \cdot 10^{-3}$	$2,38 \cdot 10^{-3}$
	Середні / ДК _В (у частках)	$2,8 \cdot 10^{-2}$	3.89	0.48
	Середні / ДК _А (у частках)	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$4,54 \cdot 10^{-2}$	$1,19 \cdot 10^{-2}$

Згідно аналізу змодельованих значень об'ємних концентрацій та даних вимірювань концентрацій, побудовано графіки для окремих радіоактивних домішок на фіксованих повітродувках в межах хвостовищ (див. рис 3.3.7-3.3.10) де, червоним кольором виділені - реальні виміри об'ємних концентрацій, жовтим – змодельовані, що співпали.

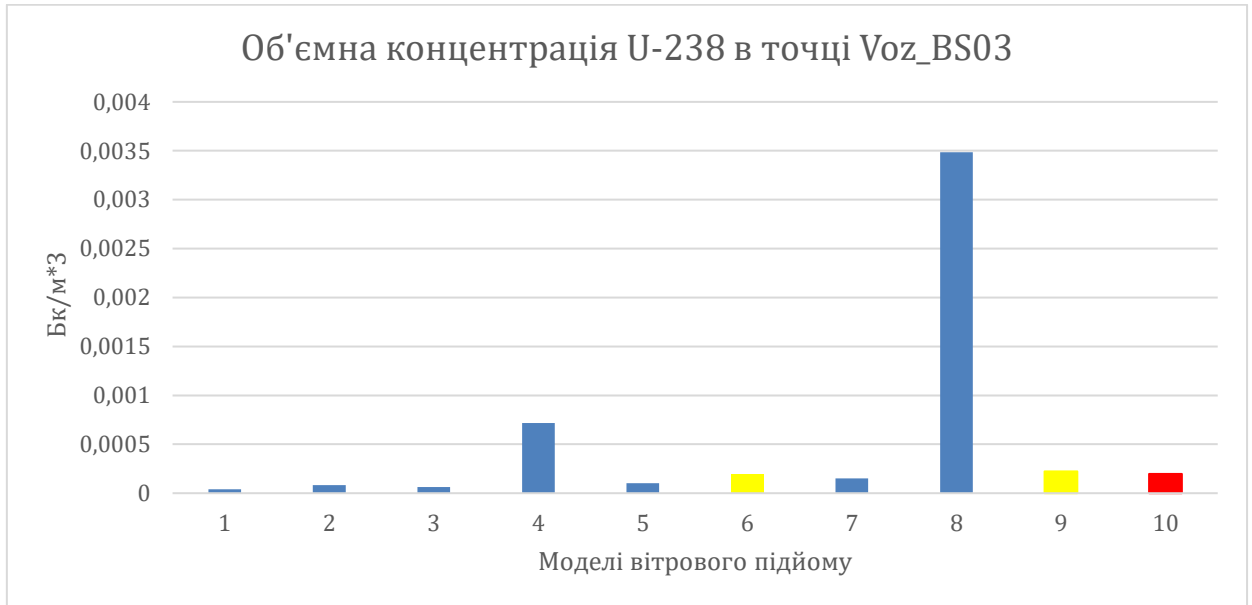


Рис.3.3.7 Гістограма змодельованих об'ємних концентрацій U-238 в точці Voz_BS03 за 15.09.2009р.

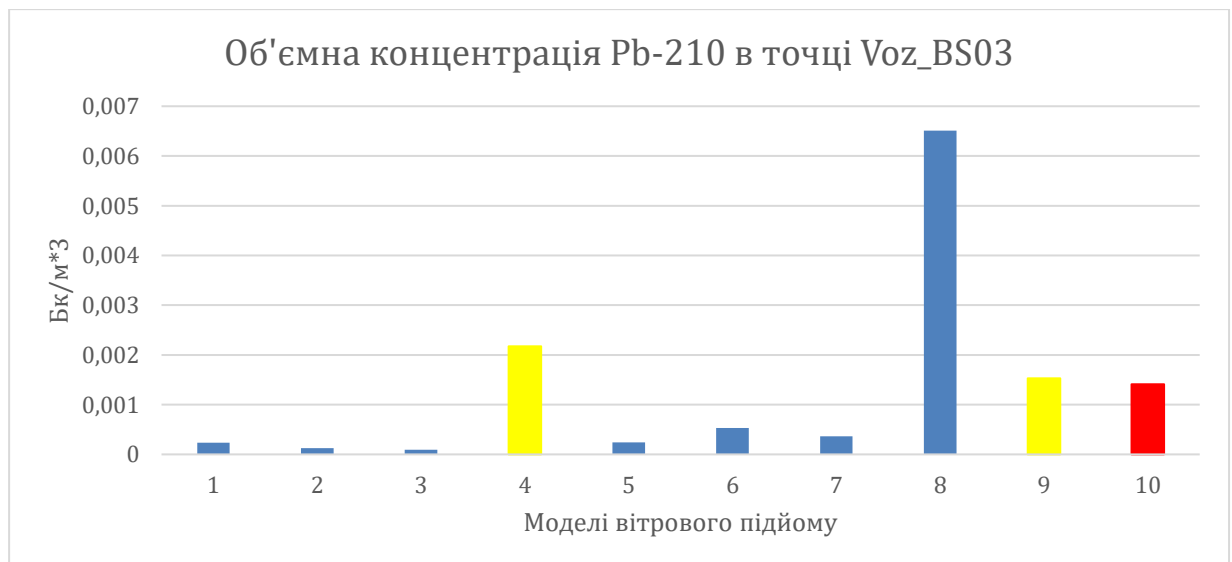


Рис.3.3.8 Гістограма змодельованих об'ємних концентрацій Pb-210 в точці Voz_BS03 за 16.09.2009р.

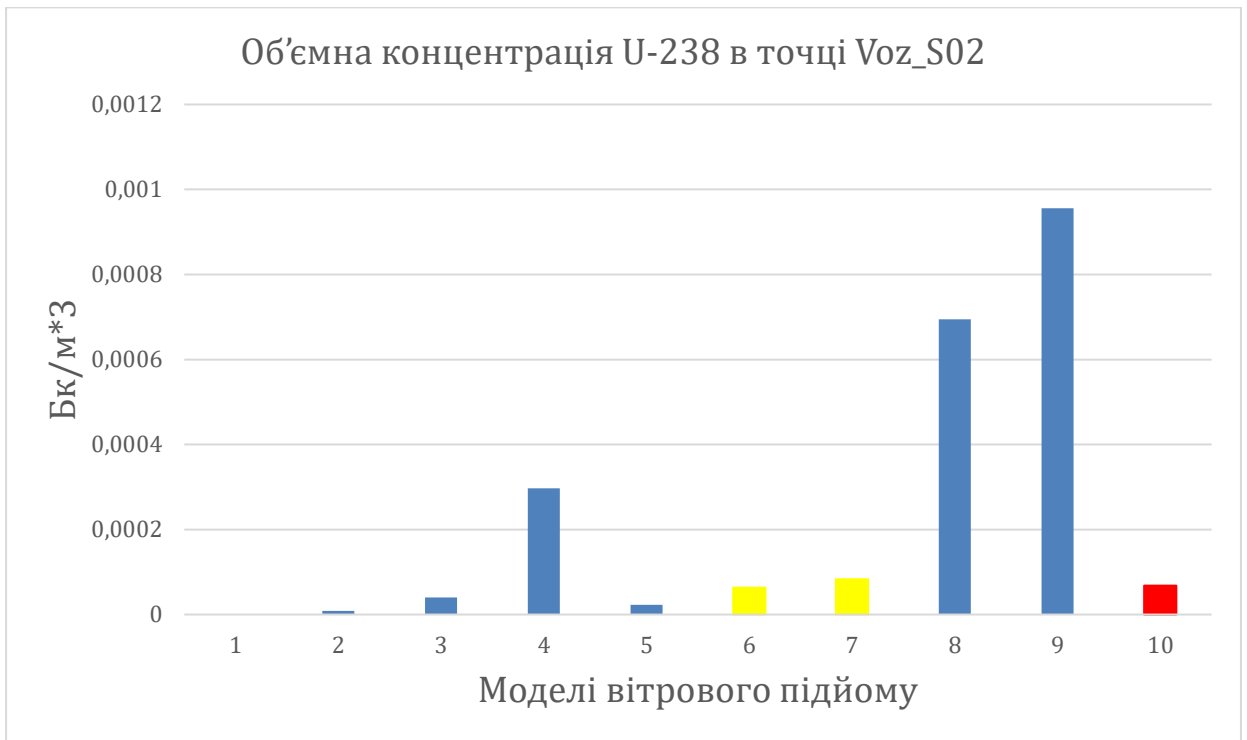


Рис.3.3.9 Гістограма змодельованих об'ємних концентрацій Рb-210 в точці Voz_BS03 за 14-15.10.2009р

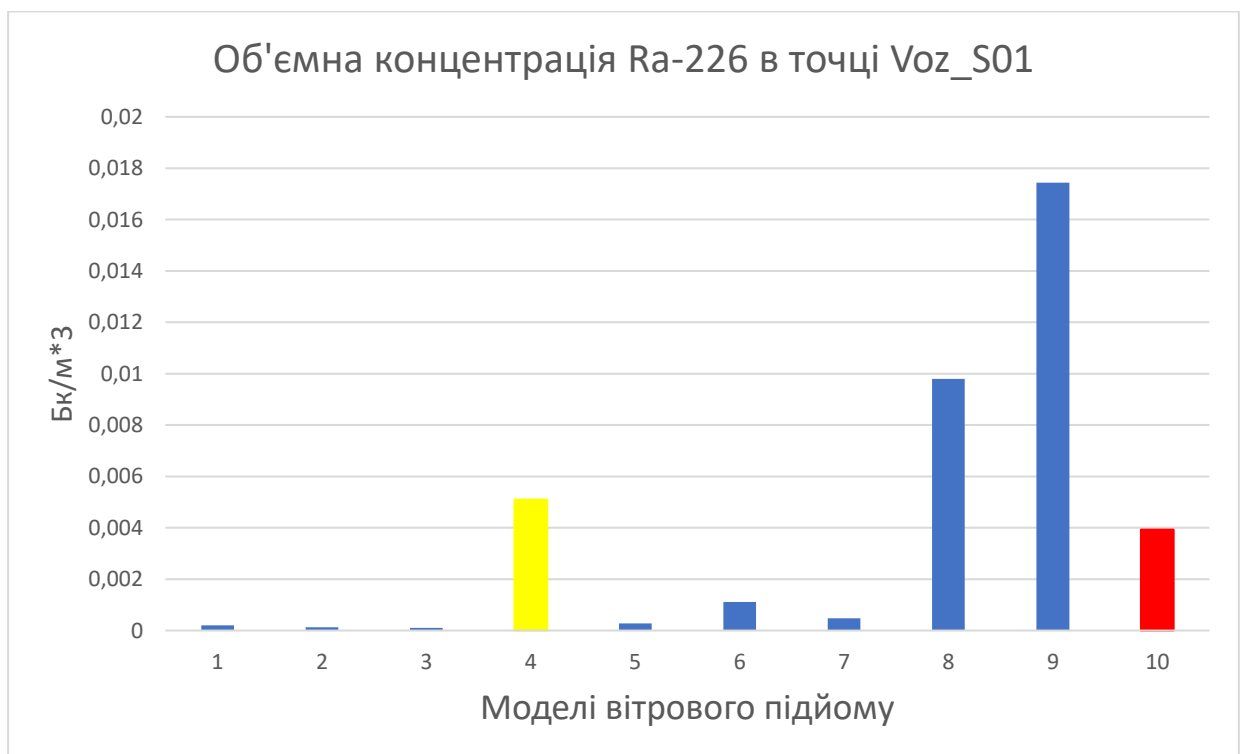


Рис.3.3.10 Гістограма змодельованих об'ємних концентрацій Рb-210 в точці Voz_BS03 за 14-15.10.2009р.

Проаналізувавши графіки, можна наглядно побачити, що значення концентрації, одержані за допомогою моделей 4, 6, 7, 9 співпали з реальними, тому саме вони будуть використовуватись для побудови поля забруднення в подальшому.

В заданих моделях основними метеорологічними параметрами є швидкість та напрямок вітру на основі яких розраховано коефіцієнт вітрового підйому (див.Додаток Б).



Рис. 3.3.11 Залежність коефіцієнту вітрового підйому від швидкості вітру для моделей 4, 6, 7, 9.

Аналізуючи дані таблиці в додатку та Рис. 3.3.11 прослідковується, що для деяких моделей є критичні значення швидкості вітру, зокрема, для Моделі № 4 – 1м/с, Модель № 6 та Модель № 7 – 3м/с, Модель № 9 – 4м/с.

3.4 Моделювання поля забруднення атмосферного повітря радіоактивними аерозолями в зоні впливу Придніпровського хімічного заводу

Для моделювання поля забруднення повітря з зоні впливу ПХЗ було використано 4 моделі, що дали найкращий результат у процесі верифікації їх на реальних даних вимірювань об'ємних концентрацій. Для моделювання були використані дані реальних метеорологічних спостережень на метеостанції Кам'янське, а саме, значення швидкості та напрямку вітру за 13.02.2011 р. 11:00 год: швидкість – 15 м/с, напрямок 303°; за 04.06.2012 р. 11:00 год: швидкість – 10 м/с, напрямок 221°; за 24.02.2020 р. 18:00 год: швидкість – 17 м/с, напрямок 327°. Результати моделювання поля приземних об'ємних концентрацій представлені у вигляді карт на рис. 3.4.1-3.4.6.

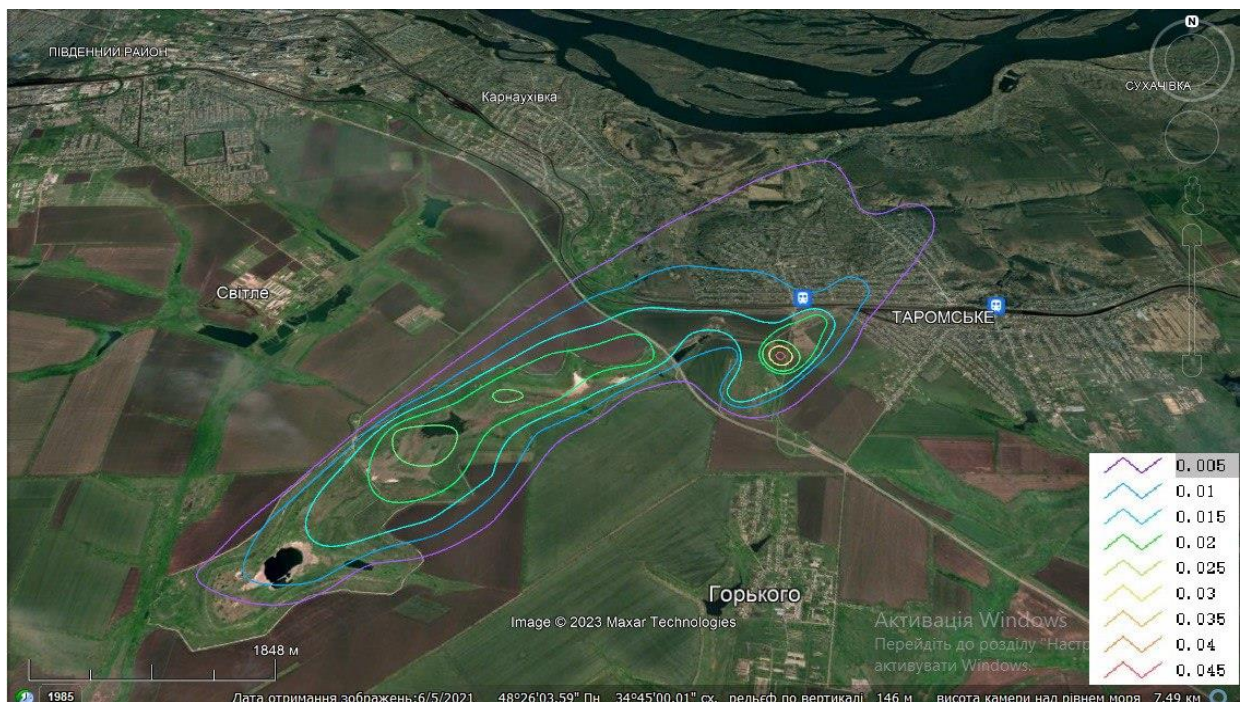


Рис.3.4.1 Карта просторового розподілу приземних об'ємних концентрацій Rb-210 (04.06.2012р.)

Отримана карта моделювання поля забруднення приземного шару атмосфери згідно Моделі №4 для досліджуваних хвостосховищ за 04.06.2012р. при максимальній швидкості вітру об 11 год. - 10м/с показують,

що максимальні концентрації Рb-210 становлять 0.045 Бк/м^3 на території «Бази С».

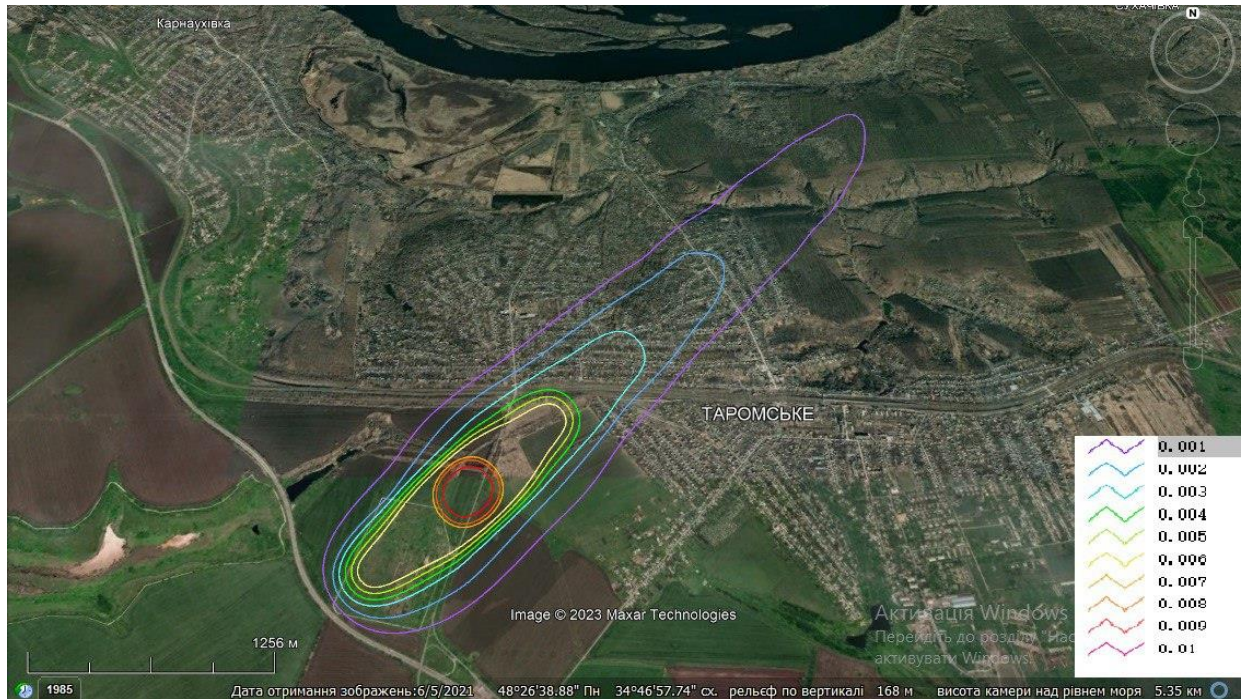


Рис.3.4.2 Карта просторового розподілу приземних об'ємних концентрацій U-238 (04.06.2012р.)

Аналізуючи карту просторового розподілу об'ємних концентрацій U-238 за 04.06.2012р. прослідковується максимальна концентрація домішки в межах хвостовища «База С» зокрема, в її східній частині і рівна 0.01 Бк/м^3 з тенденцією вітрового переносу домішки в північно східну частину.

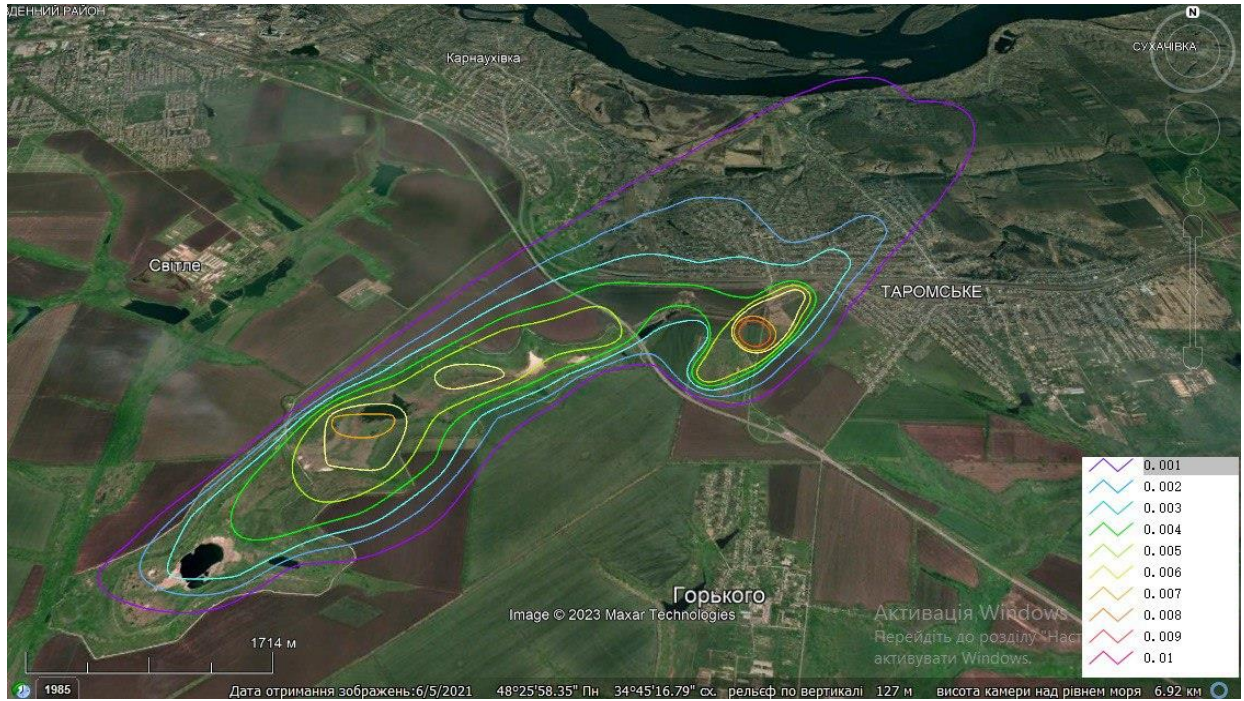


Рис.3.4.3 Карта просторового розподілу приземних об'ємних концентрацій Ra-226 (04.06.2012р.)

Моделювання Ra-226 при швидкості вітру 10м/с та напрямку 220, Моделлю №6 (див.рис 3.4.3) сформував поле забруднення з максимальними значеннями на «Базі С» - 0.01 Бк/м³ та концентраціями в центральній частині хвостовища «Сухачівське» - 0.008 Бк/м³.

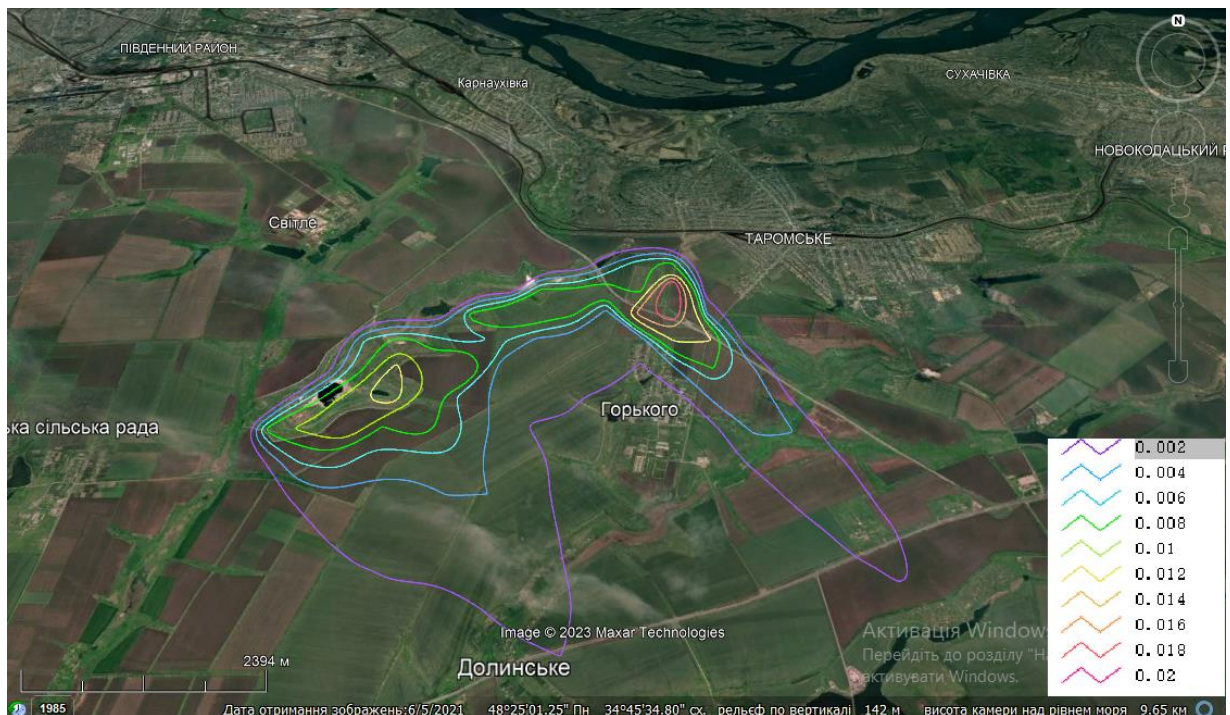


Рис.3.4.4 Карта просторового розподілу приземних об'ємних концентрацій Рb-210 (24.02.2022р.)

На рис.3.4.4 представлений просторовий розподіл даних щодо змодельованої щільності забруднення радіоактивним елементом Рb-210 по території х/с згідно Моделі №9. Відмічено, що максимальні значення за змодельованими даними 24.02.2022р. при швидкості вітру 17м/с. спостерігаються в західній частині хвостовища «Бази С» і становлять 0.02 Бк/м³, при цьому переважаючим було південне перенесення, тобто населені пункти Долинське та Горського потрапляють в зону вітрового перенесення радіоактивної домішки.

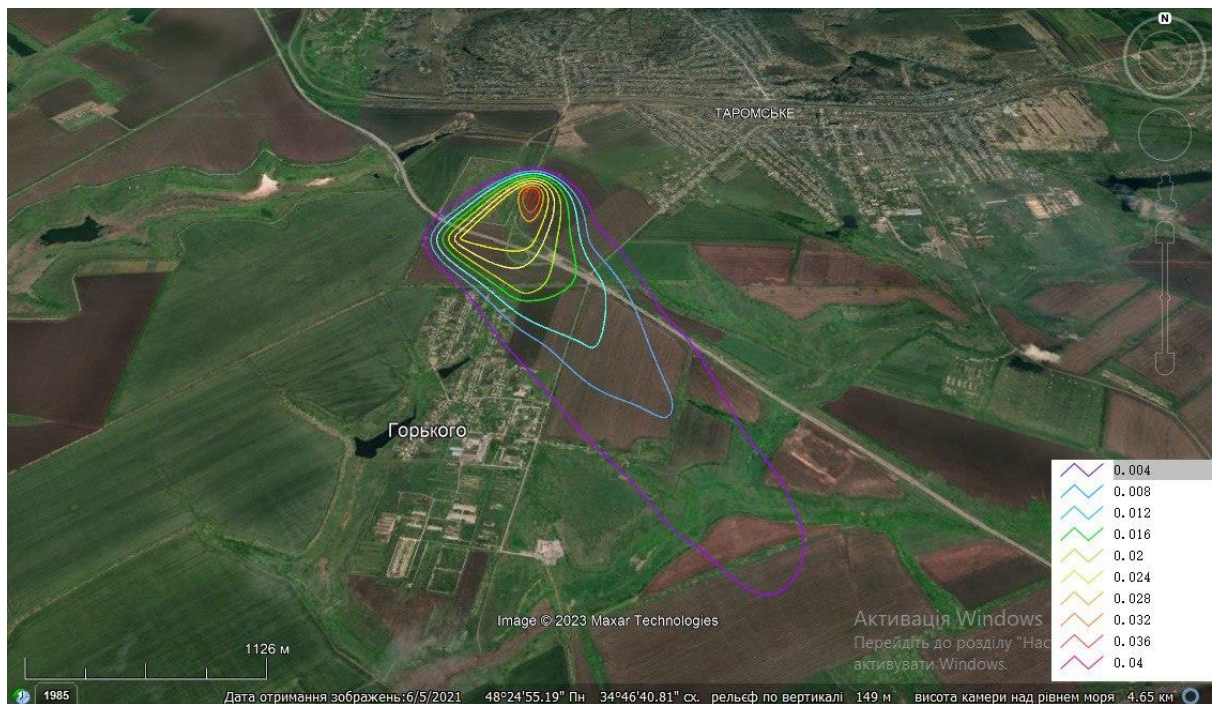


Рис.3.4.5 Карта просторового розподілу приземних об'ємних концентрацій U-238 (24.02.2022р.)

Згідно, отриманих даних Моделі №6 (див.рис.3.4.5) максимальні значення концентрації домішки урану (24.02.2022р.) зафіксовані також, у західній частині «Бази С» і становить – 0.04 Бк/м³, прослідковується тенденція перенесення нуклідів на південний-схід.

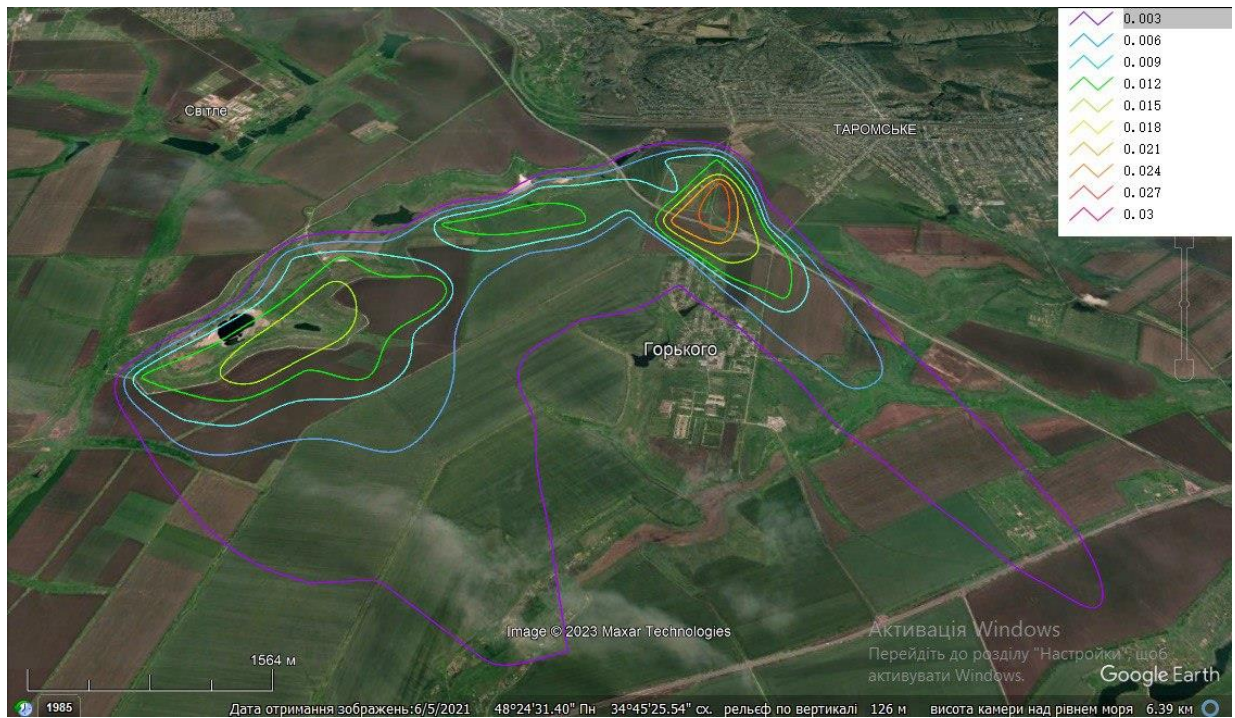


Рис.3.4.6 Карта просторового розподілу об'ємних концентрацій Ra-226 (24.02.2022р.)

Моделювання Ra-226 за 24.02.2022р. моделлю №6 при швидкості вітру 17м/с та напрямку вітру 327° показало, що максимальна концентрація припадає на «Базу С» та рівна – 0.03 Бк/м³ з далеким вторинним перенесенням домішки в південну сторону.

Також, було змодельовано концентрацію радіоактивних домішок U-238, Рb-210, Ra-226 для 13.02.2011р. з зафіксованою швидкістю вітру 15м/с і напрямом вітру 303°, результати якого представлені в Додотку В. Згідно з якими, максимальна концентрація U-238 - 0.02 Бк/м³, Рb-210 - 0.7 Бк/м³, Ra-226 - 0.02 Бк/м³

ВИСНОВКИ

У роботі досліджено багаторічну динаміку (2010-2021рр.) вітрового режиму по метеостанції «Кам'янське». Встановлено що, переважаючим напрямком вітру був південний, середня швидкість якого - 4 м/с. Після статистичної оцінки характеристик вітру, визначено, що найбільш вразливими до забруднення приземного шару повітря радіоактивними аерозолями є населені пункти Світле, Таромське та Карнаухівка.

Досліджено 9 моделей вторинного вітрового підйому аерозолей. Вихідними параметрами для кожної моделі є – значення вертикального потоку активності з радіоактивно забрудненої поверхні землі, тобто кількість активності, яка підіймається за одиницю часу з одиниці площі. Вихідними метеорологічними параметрами моделей є швидкість та напрямок вітру.

На основі проведеного моделювання об'ємних концентрацій нуклідів U-238, Ra-226, Th-230, Pb-210 за 15,16.09.2009р., 14-15.10.2009р. на території хвостосховищ «База С» та «Сухачівське» визначено, що найбільш репрезентативними моделями, дані яких найбільше співпадають з реально вимірними даними є моделі – 4, 6, 7, 9.

Для сучасного періоду, зокрема, для днів з максимальними швидкостями вітру змодельовано поля забруднення приземного шару атмосфери територій навколо ПХЗ радіоактивними домішками. Максимальні значення 4.06.2012р. при швидкості вітру 10м/с для U-238 - 0.01 Бк/м³, Pb-210 - 0.045 Бк/м³, Ra-226 - 0.01 Бк/м³; 24.02.2020р. U-238 - 0.04 Бк/м³, Pb-210 - 0.02 Бк/м³, Ra-226 - 0.03 Бк/м³ при швидкості вітру 17м/с та напрямку вітру 327⁰. Прослідковується, що чим більша швидкість вітру, тим більшим буде коефіцієнт вітрового підйому і тим далі переносяться домішки від джерела забруднення.

Досліджено що, коефіцієнт вітрового підйому домішки в приземному шарі залежить від швидкості вітру, а саме поле концентрації ще й від напрямку вітру та враховує інші його особливості – дисперсний склад ґрунту тощо. Для різних територій дослідження необхідно враховувати не лише метеорологічні умови, а і особливості джерела забруднення. Відповідно, для більш детального та точного дослідження необхідно адаптувати кожен модель під параметри досліджуваної території.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 20 років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє: Національна доповідь України. 2006 (усі – Київ).
2. А. Халченков та ін. Моделювання атмосферного перенесення радіонуклідів у складі частинок пилу на околицях об'єктів зберігання радіоактивних відходів. Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля 27 (2016)
3. Атлас Чорнобильської зони відчуження.” (Наукове-виробниче підприємство "Картографія". Київ, 1996
4. Бакуленко В. Д., Проскура М. І., Холоша В. І. Сучасні підходи до вирішення проблем Чорнобильської зони відчуження та безумовного відселення. 2000;
5. Барьяхтар В. Г., Кухар В. П., Лось І. П. та ін. Всебічна оцінка ризиків внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. 1998;
6. В.І. Глазко, Б.Л. Зибайлов, Т.Т. Глазко. Підвищення рівня іонізуючого опромінення: «горизонтальні» та «вертикальні» біологічні та біосоціальні наслідки (на прикладі аварій на Чорнобильській АЕС та АЕС Фукусіма-1). Сільськогосподарська біологія 51 (2015) 141.
7. Возженников О.І. Нестеров А.В. Про перенесення домішки в атмосфері обумовленої вітровим підйомом з поверхні, що підстилає // Меторологія і гідрологія. – 1988. – № 11. – С. 63-70.
8. Вплив радіаційного фактора Чорнобильської зони відчуження на організм тварин. Під ред. Я.І. Серкіза, М.Ю. Алесіної (К.: Атіка, 2006) 320 с.
9. Вторинний підйом радіоактивного аерозолі в приземному шарі атмосфери: монографія / Е. К. Гаргер: НАН України, Ін-т проблем безпеки АЕС. – Чорнобиль (Київ. обл.) : Ін-т проблем безпеки АЕС, 2008. – 192 с.

10. Гаргер Є.К., Жуков Г.П. та Седунов Ю.С. Оцінка параметрів вітрового підйому радіонуклідів у зоні Чорнобильської АЕС //Метеорологія та гідрологія. – 1990. – № 1. – С.5-10.

11. Є.Б. Григоркіна, Г.В., Оленєв, М.В. Модорів. Дрібні ссавці в зоні Східно-Уральського радіоактивного сліду: через 50 років. Питання радіаційної безпеки: наук.-практ. журн. ПЗ «Маяк». Спец. вип.: Східноуральський радіоактивний слід - 50 років (2007) 68.

12. Лагуненко О. С. Радіоактивні аерозолі в умовах нового безпечного конфайнмента у 2018 р. / О. С. Лагуненко, В. Є. Хан, О. К. Калиновський, В. О. Кашпур, В. П. Ковальчук, П. В. Сабенін, О. А. Свирид, А. В. Ткач, С. В. Юрчук // Ядерна енергетика та довкілля. – Київ, 2020. – Вип. 3(18). – С. 79–85].

13. М.С. Мацал (Київ 2021) : “Динаміка лісового покриву Чорнобильської зони відчуження , 34-35с.

14. Н.П.Барановська. Україна, Чорнобиль світ. – К.: Ніка Центр, 1999. – С. 2248225

15. Наказ МіністерстваУкраїни з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи № 226 від 04.08.98 р. «Про затвердження Положення про Адміністрацію зони відчуження і зони безумовного (обов’язкового) відселення МНС України».

16. Віддалені еколого-генетичні наслідки радіаційних інцидентів: Тоцький ядерний вибух (Оренбурзька область, 1954)288 с.

17. Пояснювальна записка до проекту організації та розвитку лісового господарства державного спеціалізованого комплексного підприємства «Чорнобильська Пуща». Ірпінь: ВО «Укрдержліспроєкт», 2016. 121 с.

18. Радіоекологічні дослідження у зоні відчуження Чорнобильської АЕС (до 20-річчя аварії на Чорнобильській АЕС). Тр. Комі НЦ УРО РАН 180 (2006) 232.

19. Талерко М. М. Моделювання атмосферного розповсюдження радіоактивності, винесеної в повітря в результаті лісових пожеж у зоні відчуження у квітні 2020 р. / М. М. Талерко, Т. Д. Лев, І. В. Ковалець, Ю. В. Яценко // Ядерна енергетика та довкілля. – Київ, 2020. – Вип. 3(18). – С. 86–104.]
20. Ткаченко Ю. Придніпровський хімічний завод – урановаспадщина України. Норвегія, Осло: Bellona Foundation, 2020. 136 с.
21. Чорнобильська катастрофа/За ред. В.Г Барьяхтара. - К.: Наукова думка, 1995. - 559 с.
22. Шинкаренко В. К. Радіоактивні аерозолі в ближній зоні Чорнобильської атомної електростанції у 2018 р. / В. К. Шинкаренко, М. М. Талерко, В. О. Кашпур, Г. Г. Скоряк, О. А. Свирид // Ядерна енергетика та довкілля. – Київ, 2020. – Вип. 1 (16). – С. 57–67.
23. Anspaugh L.R., Shinn J.H., Phelps P.L., Kennedy N.C. Resuspension and redistribution of plutonium in soils // Health Phys. 1975.-29.- P. 571-582.
24. Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen — Bergbau), BMU, Berlin, 30.07.1999 (Визначення принципів для оцінки радіаційного опромінення від радіоактивності у навколишньому середовищі пов'язаної з гірnodобувною промисловістю).
25. Garger E., Nosovskyi A., Talerko M. et al. Secondary Radioactive Contamination of the Atmosphere in Intermediate and Late Phases of a Nuclear Emergency, РН “Akademperiodyka” 2020. 274p
26. Garger E.K. Air concentrations radionuclides in vicinity of Chernobyl and ЭффеКТЫ resuspension // J. Aerosol Sci. 1994.-25. – P. 745-753.

27. Garger E.K., Hofman F.O., Thiessen K.M. Uncertainty of the long-term resuspension factor // Atmos. Environ. – 1997.-31.-P. 1647–1656.
28. Garland J.A. and Pomeroy I.R. Resuspension fall-out матеріали, що впливають з Chernobyl accident // J. Aerosol Science. – 1994. – 25(5).-P. 793-806.
29. Healy J.W. Review of resuspension models: Transuranic Elements in the Environment. W.C. Hanson, Editor, DOE/TIC-22800, US. Department of Energy, 1980. - by a m the the P. 209-235.
30. (Електронний ресурс). Режим доступу: http://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2018/2018_30/c60.PDF
31. (Електронний ресурс). Режим доступу: <http://www.old.rv.gov.ua/sitenew/data/upload/photo/table1.pdf>
32. (Електронний ресурс). Режим доступу: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/51/124/51124746.pdf
33. (Електронний ресурс). Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/309911058_STAN_RADIOAKTIVNOGO_ZABRUDNENNA_POVERHNEVIH_VOD
34. (Електронний ресурс). Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/320679313_The_Remote_Radiation_Monitoring_of_Highly_Radioactive_Sports_in_the_Chernobyl_Exclusion_Zone
35. Linsley G.S. Resuspension of Transuranium Elements: A Review of Existing Data. - Harwell, United Kingdom: National Radiological Protection Board, 1978.
36. Monin A.S., Yaglom A.M. Statistical Fluid Mechanics: Mechanics of Turbulence, Vol. 1.- Cambridge: MIT Press, MA, 1970
37. Nicholson K. W. Review of particle resuspension // Atmospheric Environment. -1988. 12. P. 2639-2651. ing 34. 50. Makhonko

К.Р. Вогник uplift of radioactive dust from the ground // Atomic Energy. 1992. Vol. 72. - No. 5, May, translated from Russian.

38. Nicholson K. W., Garland J.A. and Branson J.R. The resuspension of particulate material - A summary report. January 1993. AEA Environment and Energy Harwell Laboratory, Oxon, UK

39. Sehmel G.A. Deposition and Resuspension: Atmospheric Science and Power Production. DOE/TIC-27601 (DE 84005177). – 1984. – Chap. 12.-P. 533-572.

40. Smith WJ, Whicker FW, Meyer H.R. Review and Categorization of Saltation, Suspension, i Resuspension Models // Nuclear Safety. 1982. Vol. 23. No. 6. – P. 685 thestic - 699.

41. Tikhomirovet. al. Consequences of radioactive pollution of forests near Chernobyl NPP. In "Chernobyl-88. Reports of Ist All-Union Scientific and Technical Conference onthe Chernobyl Accident". - 1989. - Part 3. - P. 99 – 115.

42. V. Bohorad, T. Lytvynska, I. Shevchenko, O. Dybach, O. Slepchenko, Радіаційні наслідки пожежі в зоні відчуження Чорнобильської АЕС, Ядерна та радіаційна безпека: № 1(69) (2016): Ядерна та радіаційна безпека]

43. Vintersved 1. Nylen T., Genborg A. etal. ECP-1 Contaminationof Surface by Resuspendend Material. Report of FOA, Sundbyberg, October 1994

44. Yoshihisa Kubotaetal. Chromosomal Aberrationsin Wild Mice Capturedin Areas Differentially Con- taminated by the Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant Accident. Environmental Science & Technology 49 (2015) 10074.

ДОДАТКИ

Додаток А

Сховища	Ділянка	S, м2	Lat	Long	U-238, Бк/м2	Th-230, Бк/м2	Ra-226, Бк/м2	Pb-210, Бк/м2
База С	Б1	62500	48.434111	34.765135	173061	31240	18347	13389
	Б2	62500	48.434111	34.768439	173061	31240	18347	13389
	Б3	62500	48.431858	34.761831	51650	81368	45286	31931
	Б4	62500	48.431858	34.765135	185259	178456	126010	87756
	Б5	62500	48.431858	34.768439	314002	622829	265455	194596
	Б6	62500	48.429605	34.761831	51650	81368	45286	31931
	Б7	62500	48.429605	34.765135	514579	665560	490042	264564
	Б8	62500	48.429605	34.768439	436244	1850443	575865	443670
	Б9	62500	48.427352	34.761831	356904	444201	283594.38	171218
	Б10	62500	48.427352	34.765135	558933	7000500	514854	273071
	Б11	62500	48.427352	34.768439	24377	122971	29624	29807
Сухачівське	С1	62500	48.438617	34.761831	6449	109699	90316	64864
	С2	62500	48.438617	34.765135	6449	109699	90316	64864
	С3	62500	48.436364	34.758527	6449	109699	90316	64864
	С4	62500	48.436364	34.761831	6449	109699	90316	64864
	С5	62500	48.436364	34.765135	6449	109699	90316	64864
	С6	62500	48.436364	34.768439	6449	109699	90316	64864
	С7	62500	48.434111	34.742007	1464	109699	1797	3355
	С8	62500	48.434111	34.745311	9643	585774	200724	151527
	С9	62500	48.434111	34.748615	1539	109699	1982	3561
	С10	62500	48.434111	34.751919	1539	109699	90316	64864
	С11	62500	48.434111	34.755223	6449	109699	90316	64864
	С12	62500	48.434111	34.758527	6449	109699	90316	64864
	С13	62500	48.431858	34.728791	1758	109699	1796	3596
	С14	62500	48.431858	34.732095	1758	109699	1796	3596
	С15	62500	48.431858	34.735399	1705	109699	1863	4629
	С16	62500	48.431858	34.738703	1464	2765	1797	3355

	C17	62500	48.431858	34.742007	1464	2765	1797	3355
	C18	62500	48.431858	34.745311	31793	109699	90316	64864
	C19	62500	48.431858	34.748615	6449	109699	200814	119072
	C20	62500	48.431858	34.751919	6449	109699	90316	64864
	C21	62500	48.431858	34.755223	6449	109699	90316	64864
	C22	62500	48.431858	34.758527	6449	109699	90316	64864
	C23	62500	48.429605	34.725487	1101	2617	1590	3435
	C24	62500	48.429605	34.728791	1324	56158	1693	3515
	C25	62500	48.429605	34.732095	6449	109699	90316	64864
	C26	62500	48.429605	34.735399	6449	109699	90316	64864
	C27	62500	48.429605	34.738703	6449	109699	90316	64864
	C28	62500	48.429605	34.742007	6449	109699	90316	64864
	C29	62500	48.429605	34.745311	6449	109699	90316	64864
	C30	62500	48.429605	34.748615	6449	109699	90316	64864
	C31	62500	48.427352	34.722183	1548	109699	4946	5002
	C32	62500	48.427352	34.725487	1324	56158	3264	4219
	C33	62500	48.427352	34.728791	6449	109699	90316	64864
	C34	62500	48.427352	34.732095	6449	109699	90316	64864
	C35	62500	48.427352	34.735399	6449	109699	90316	64864
	C36	62500	48.427352	34.738703	6449	109699	90316	64864
	C37	62500	48.427352	34.742007	6449	109699	90316	64864
	C38	62500	48.427352	34.745311	6449	109699	90316	64864
	C39	62500	48.425099	34.718879	1991	17032	23806	21360
	C40	62500	48.425099	34.722183	1769	63365	14376	13181
	C41	62500	48.425099	34.725487	6449	109699	90316	64864
	C42	62500	48.425099	34.728791	6449	109699	90316	64864
	C43	62500	48.425099	34.732095	6449	109699	90316	64864
	C44	62500	48.425099	34.735399	6449	109699	90316	64864
	C45	62500	48.425099	34.738703	6449	109699	90316	64864
	C46	62500	48.422846	34.715575	6449	109699	90316	64864
	C47	62500	48.422846	34.718879	0	0	160077	117493

	C48	62500	48.422846	34.722183	6449	109699	90316	64864
	C49	62500	48.422846	34.725487	6449	109699	90316	64864
	C50	62500	48.422846	34.728791	6449	109699	90316	64864
	C51	62500	48.420593	34.715575	6449	109699	90316	64864
	C52	62500	48.420593	34.718879	6449	109699	90316	64864
	C53	62500	48.420593	34.722183	6449	109699	90316	64864
	C54	62500	48.420593	34.725487	6449	109699	90316	64864
	C55	62500	48.420593	34.728791	6449	109699	90316	64864
	C56	62500	48.420593	34.732095	6449	109699	90316	64864
	C57	62500	48.41834	34.712271	6449	109699	90316	64864
	C58	62500	48.41834	34.715575	6449	109699	90316	64864
	C59	62500	48.41834	34.718879	6449	109699	90316	64864
	C60	62500	48.41834	34.722183	6449	109699	90316	64864
	C61	62500	48.41834	34.725487	6449	109699	90316	64864
	C62	62500	48.41834	34.728791	6449	109699	90316	64864
	C63	62500	48.41834	34.732095	6449	109699	90316	64864
	C64	62500	48.416087	34.712271	6449	109699	90316	64864
	C65	62500	48.416087	34.715575	6449	109699	90316	64864
	C66	62500	48.416087	34.718879	6449	109699	90316	64864
	C67	62500	48.416087	34.722183	6449	109699	90316	64864
	C68	62500	48.413834	34.708967	6449	109699	90316	64864
	C69	62500	48.413834	34.712271	6449	109699	90316	64864
	C70	62500	48.413834	34.715575	6449	109699	90316	64864
	C71	62500	48.413834	34.718879	6449	109699	90316	64864
	C72	62500	48.413834	34.722183	6449	109699	90316	64864
	C73	62500	48.413834	34.725487	6449	109699	90316	64864
	C74	62500	48.413834	34.728791	6449	109699	90316	64864
	C75	62500	48.411581	34.702359	6449	109699	90316	64864
	C76	62500	48.411581	34.705663	6449	109699	90316	64864
	C77	62500	48.411581	34.708967	6449	109699	90316	64864
	C78	62500	48.411581	34.712271	6449	109699	90316	64864

	C79	62500	48.411581	34.715575	6449	109699	90316	64864
	C80	62500	48.411581	34.718879	6449	109699	90316	64864
	C81	62500	48.411581	34.722183	6449	109699	90316	64864
	C82	62500	48.411581	34.725487	6449	109699	90316	64864
	C83	62500	48.411581	34.728791	6449	109699	90316	64864
	C84	62500	48.409328	34.702359	6449	109699	90316	64864
	C85	62500	48.409328	34.705663	6449	109699	90316	64864
	C86	62500	48.409328	34.708967	6449	109699	90316	64864
	C87	62500	48.409328	34.712271	6449	109699	90316	64864
	C88	62500	48.409328	34.715575	6449	109699	90316	64864
	C89	62500	48.407075	34.702359	6449	109699	90316	64864
	C90	62500	48.407075	34.705663	6449	109699	90316	64864
	C91	62500	48.407075	34.708967	6449	109699	90316	64864
	C92	62500	48.407075	34.712271	6449	109699	90316	64864

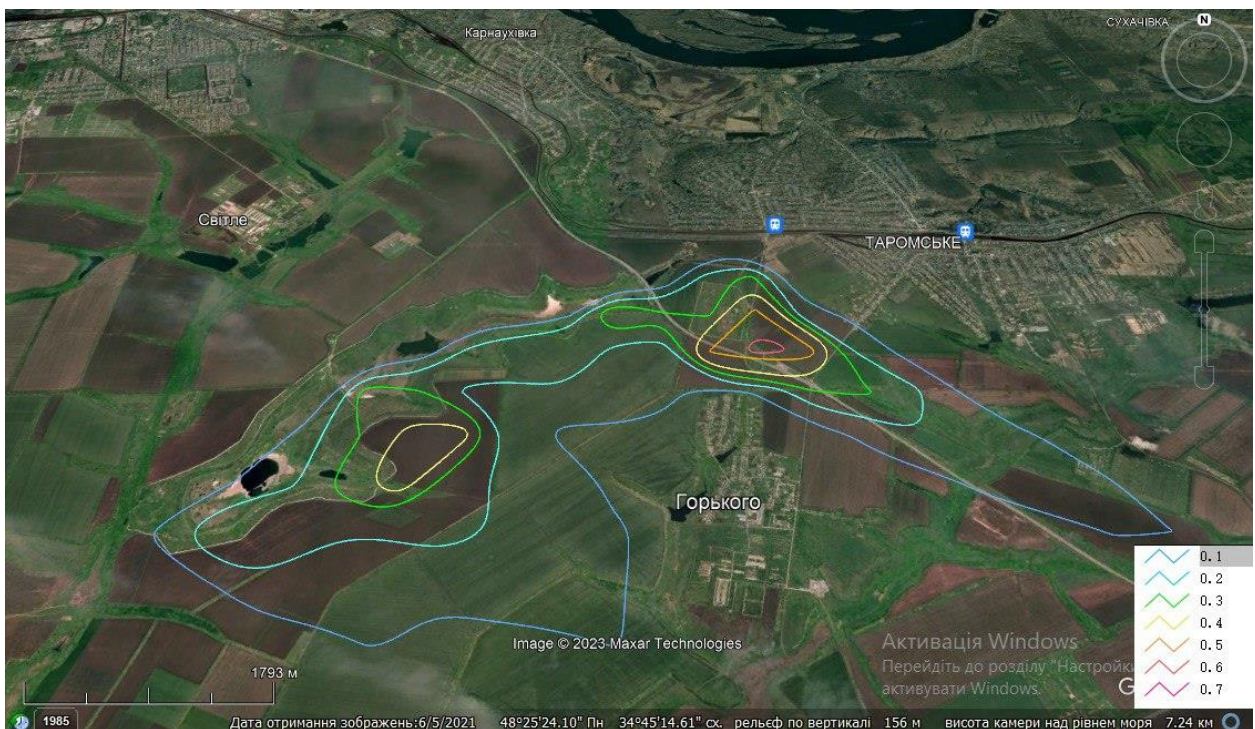
Додаток Б

Таблиця. 11 Залежність коефіцієнту вітрового підйому від швидкості вітру для моделей 4, 6, 7, 9.

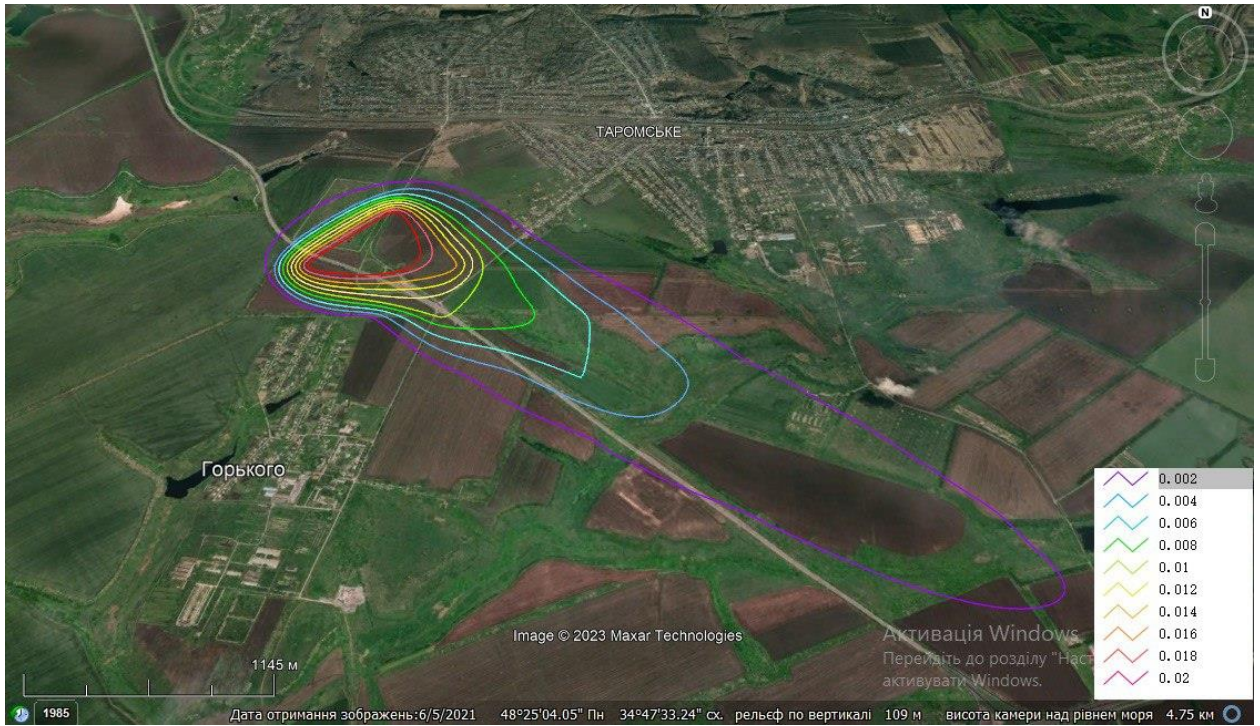
Швидкість вітру	01	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
4	0	-3.18E-10	-4.73E-10	7.38E-10	4.51E-09	1.21E-08	2.46E-08	4.32E-08	6.93E-08	1.04E-07	1.48E-07	2.04E-07	2.71E-07	3.52E-07	4.48E-07	5.59E-07	6.87E-07	8.33E-07
6	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.05E-10	1.11E-09	2.73E-09	5.25E-09	8.85E-09	1.37E-08	2.00E-08	2.79E-08	3.76E-08	4.93E-08	6.31E-08	7.92E-08	9.79E-08	1.19E-07	1.43E-07
7	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.77E-10	7.20E-10	1.42E-09	2.27E-09	3.28E-09	4.44E-09	5.75E-09	7.23E-09	8.85E-09	1.06E-08	1.26E-08	1.47E-08	1.69E-08	1.93E-08	2.19E-08
9	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.93E-09	2.17E-08	6.18E-08	1.37E-07	2.62E-07	4.55E-07	7.36E-07	1.13E-06	1.66E-06	2.36E-06	3.25E-06	4.38E-06	5.78E-06	7.48E-06



Карта просторового розподілу приземних об'ємних концентрацій Ra-226
Модель №6 (13.02.2011р.)



Карта просторового розподілу приземних об'ємних концентрацій Pb-210
Модель №9 (13.02.2011р.)



Карта просторового розподілу приземних об'ємних концентрацій U-238, Модель №6 (13.02.2011р.)