

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого
розвитку

Кафедра екології та менеджменту довкілля

До захисту допущено
Кафедрою екології та менеджменту довкілля
протокол № _____ від _____

В. о. завідувача кафедри _____ *Андрій АЧАСОВ*
(підпис) *(ім'я, прізвище)*

« _____ » _____ 2026 р.

Кваліфікаційна робота
здобувача _____ першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
(першого (бакалаврського) / другого (магістерського))

Оцінка радіаційного фону в умовах
урбаністичного середовища
(назва роботи)

Спеціальність (спеціалізація) 101 Екологія _____
(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності - за наявності)

Освітня програма Екологія _____
(назва освітньої програми)

Виконавець _____ Тимур АЛІЄВ _____
(підпис) *(ім'я, прізвище)*

Науковий керівник _____ Олексій КРАЙНЮКОВ _____
(підпис) *(ім'я, прізвище)*

Харків – 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В. Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут екології, зеленої енергетики та сталого розвитку
Кафедра екології та менеджменту довкілля
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) бакалавр
Спеціальність 101 Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ /Андрій АЧАСОВ
підпис ім'я та прізвище

“__” _____ 2026 року

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

_____ Тимуру АЛІЄВУ _____
(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи Оцінка радіаційного фону в умовах урбаністичного середовища

керівник роботи Олексій КРАЙНЮКОВ, д-р геогр. наук, професор
(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “__” _____ 20__ року № _____

2. Строк подання студентом роботи _____ 2026 р.

3. Перелік питань, які потрібно розробити:

1. провести комплексний аналіз науково-літературних джерел щодо формування природного та техногенного радіаційного фону в урбанізованому середовищі;

2. опрацювати методику радіоекологічних досліджень із використанням дозиметрів-радіометрів;

3. узагальнити результати вимірювань потужності еквівалентної дози (ПЕД) гамма-випромінювання у різних функціональних зонах та об'єктах підземної інфраструктури м. Харкова;

4. виявити та проаналізувати локальні радіаційні аномалії природного походження, зумовлені архітектурними особливостями міста та використанням специфічних оздоблювальних матеріалів;

5. розрахувати річне дозове навантаження на населення міста та оцінити відповідність отриманих показників нормам радіаційної безпеки України.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Теоретичні основи оцінки радіаційного фону в урбанізованому середовищі.
2	Характеристика об'єкта та методика проведення досліджень у м. Харків.
3	Результати дослідження, оцінка радіаційних ризиків та заходи безпеки в м. Харків.
4	Оформлення розділу з охорони праці та загальних висновків.

5. Дата видачі завдання _____ .20__ р.

Студент

підпис

Тимур АЛІЄВ
ім'я і прізвище

Керівник роботи

підпис

проф. Олексій КРАЙНЮКОВ
посада, ім'я і прізвище

АНОТАЦІЯ

**ОЦІНКА РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ В УМОВАХ УРБАНІСТИЧНОГО
СЕРЕДОВИЩА**

Тимур АЛІЄВ

Кваліфікаційна робота містить 46 сторінок, 4 розділи, 7 рисунків, 16 таблиць, 4 формули та 16 використаних джерел.

Актуальність: Стрімка урбанізація та масове використання мінеральних будівельних матеріалів (бетон, цегла, граніт) разом із розвиненою підземною інфраструктурою змінюють радіаційний фон міста порівняно з природними екосистемами.

Мета: Уточнення та систематизація даних щодо рівнів потужності еквівалентної дози (ПЕД) гамма-випромінювання у різних функціональних зонах Харкова.

Завдання: Проаналізувати міські джерела іонізуючого випромінювання; виміряти ПЕД дозиметром-радіометром МКС-05 “ТЕРРА-П”; виявити локальні аномалії; розрахувати індивідуальне й колективне дозове навантаження на населення; запропонувати заходи з оптимізації екологічного моніторингу.

Методи: Польові заміри ПЕД за допомогою дозиметра “Терра-П”.

Результати: Встановлено, що фактичні показники ПЕД у місті коливаються в межах 0,12–0,45 мкЗв/год. Більшість локацій мають стабільний фон (0,15–0,17 мкЗв/год), що відповідає нормам радіаційної безпеки України. Максимальні рівні зафіксовано в Історичному центрі (0,45 мкЗв/год) та на станції метро “Історичний музей” (0,42 мкЗв/год) через гранітне облицювання з підвищеним вмістом природних радіонуклідів. Розраховане річне дозове навантаження (1,02–1,51 мЗв/рік) перебуває в межах природних варіацій. Рекомендовано впровадження автоматизованих постів контролю ПЕД та радону.

РАДІАЦІЙНИЙ ФОН, ПОТУЖНІСТЬ ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ДОЗИ, УРБАНІСТИЧНЕ
СЕРЕДОВИЩЕ, БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ДОЗОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ.

ABSTRACT

**ASSESSMENT OF THE RADIATION BACKGROUND IN AN URBANIZED
ENVIRONMENT**

Tymur ALIIEV

The qualification paper consists of 46 pages, 4 chapters, 7 figures, 16 tables, 4 formulas, and 16 references.

Background: Rapid urbanization and the widespread use of mineral building materials (concrete, brick, granite), along with extensive underground infrastructure, alter the background radiation of cities compared to natural ecosystems.

Objective: To refine and systematize data on the ambient equivalent dose rate (EDR) levels of gamma radiation across various functional zones of Kharkiv.

Methods: Analytical and comparative-geographical analysis of radiation sources; field radiometry and direct instrumental measurements of EDR using the MKS-05 "TERRA-P" dosimeter-radiometer.

Tasks: To analyze urban sources of ionizing radiation; measure EDR in different functional zones; identify local anomalies; calculate the radiation dose load on the population; propose measures to optimize the environmental monitoring system.

Results: The actual EDR values in the city were found to range between 0.12–0.45 $\mu\text{Sv/h}$. Most locations exhibit a stable background (0.15–0.17 $\mu\text{Sv/h}$), which complies with the radiation safety standards of Ukraine. Peak anomalous levels were recorded in the Historical Center (0.45 $\mu\text{Sv/h}$) and at the "Istorychnyi Muzei" subway station (0.42 $\mu\text{Sv/h}$) due to granite cladding with an elevated content of naturally occurring radionuclides. The calculated annual dose load (1.02–1.51 mSv/year) remains within natural variations. The implementation of automated monitoring stations for EDR and radon control is recommended.

BACKGROUND RADIATION, AMBIENT EQUIVALENT DOSE RATE, URBAN
ENVIRONMENT, BUILDING MATERIALS, DOSE LOAD.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ В УРБАНІЗОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ.....	10
1.1. Природні та техногенні джерела іонізуючого випромінювання у великих містах та методи їх вимірювання.....	10
1.2. Особливості формування радіаційного фону в індустріальних центрах	11
1.3. Вплив будівельних матеріалів на радіаційний фон приміщень.....	13
1.4. Проблема накопичення радону в житлових та громадських приміщеннях	15
1.5. Нормативно-правова база України та міжнародні стандарти щодо радіаційної безпеки населення	16
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ У М.ХАРКІВ	21
2.1. Фізико-географічна, геологічна та екологічна характеристика м.Харків	21
2.2. Принцип вибору контрольних точок для проведення замірів	22
2.3. Характеристика дозиметричного обладнання	24
2.4. Методика вимірювання потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання та статистичної обробки результатів.....	25
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ, ОЦІНКА РАДІАЦІЙНИХ РИЗИКІВ ТА ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ В М.ХАРКІВ	27
3.1. Загальна оцінка ПЕД гамма-випромінювання на відкритій місцевості.....	27
3.2. Порівняльний аналіз радіаційного фону.....	34
3.3. Виявлення локальних відхилень від середнього радіаційного фону Харкова.....	36
3.4. Розрахунок індивідуального та колективного дозового навантаження на населення різних районів міста.....	37
3.5. Рекомендації щодо оптимізації системи екологічного моніторингу та шляхи мінімізації впливу радіаційного фактора на жителів.....	39
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	41

4.1. Аналіз побутових та техногенних факторів небезпеки під час руху за маршрутом.....	41
4.2. Організаційні заходи безпеки та правила поведінки на маршруті.....	42
4.3. Охорона праці на етапі камерального аналізу.....	43
ВИСНОВКИ	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45

ВСТУП

Іонізуюче випромінювання є невід'ємною складовою природного середовища існування біосфери. Загальний радіаційний фон планети формується за рахунок космічного випромінювання і земної радіації, зумовленої присутністю у літосфері, гідросфері та атмосфері ізотопів рядів урану-238, торію-232 та калію-40. Поряд із природними елементами, починаючи з середини XX століття, внаслідок глобальних випробувань ядерної зброї, розвитку атомної енергетики та радіаційних аварій, зокрема на Чорнобильській АЕС, сформувався глобальний техногенний радіаційний фон.

Біологічна дія іонізуючого випромінювання на організм людини обумовлена його здатністю іонізувати атоми та молекули клітинних структур, прямою та непрямою дією на ДНК, що викликає утворення вільних радикалів і призводить до радіаційно-індукованих цитогенетичних пошкоджень. Згідно з рекомендаціями Міжнародної комісії з радіологічного захисту МКРЗ та МАГАТЕ, сучасна система радіаційної безпеки базується на лінійній безпороговій концепції[2, 3]. Вона постулює, що хронічне опромінення населення навіть у малих дозах не викликає детермінованих ефектів у вигляді променевої хвороби, проте несе ймовірний підвищений ризик виникнення онкологічних захворювань та генетичних мутацій.

В умовах стрімкого розвитку урбанізації проблема радіаційної безпеки населення набуває все більшого значення. Міське середовище характеризується зміненним у порівнянні з природними екосистемами радіаційним фоном. Це зумовлено високою концентрацією штучних споруд і використанням різноманітних мінеральних будівельних матеріалів (бетону, цегли, граніту), які концентрують природні радіонукліди, а також наявністю масштабної підземної інфраструктури, що сприяє накопиченню радіоактивного газу радону-222 та його дочірніх продуктів розпаду.

Місто Харків є великим науковим і індустріальним центром України з високою щільністю населення, специфічним рельєфом та геологічною будовою.

Наявність у місті різнотипової забудови (від історичних цегляних будівель до сучасних монолітно-каркасних конструкцій і радянських панельних масивів), а також глибокого метрополітену створює складну просторову картину розподілу потужності еквівалентної дози (ПЕД) гамма-випромінювання. Враховуючи стохастичні ризики від хронічного впливу малих доз радіації, систематичний моніторинг радіаційного фону та оцінка дозового навантаження на населення є науково-практичним, та необхідним завданням для контролю безпеки міських систем.

Уточнення та систематизація сучасних даних щодо рівнів гамма-випромінювання в різних функціональних зонах м. Харків (житлових, рекреаційних, транспортних) в умовах сучасного антропогенного навантаження. На новому фактологічному матеріалі проведено порівняльний аналіз дозових навантажень у будівлях різної епохи спорудження та на станціях Харківського метрополітену з урахуванням особливостей їхнього оздоблення та глибини закладення.

Отримані дані можуть розширити базу екологічного моніторингу м. Харків. Побудовані радіаційні карти та розраховані дозові навантаження можуть бути використані органами місцевого самоврядування, санітарно-епідеміологічними службами для оптимізації програм радіаційного контролю, а також у містобудівній практиці при проектуванні нових житлових масивів та оцінці екологічних ризиків для населення.

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ В УРБАНІЗОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

1.1. Природні та техногенні джерела іонізуючого випромінювання у великих містах та методи їх вимірювання

Формування радіаційного фону великого міста є результатом складної взаємодії природних та антропогенних чинників. Основними компонентами природного фону є космічне випромінювання та земна радіація, зумовлена наявністю природних радіонуклідів у ґрунтах, гірських породах та воді. Космічне випромінювання складається з первинних частинок енергії, що надходять із міжзоряного простору, та вторинного випромінювання, яке виникає внаслідок взаємодії первинних частинок з ядрами атомів атмосфери Землі.

Земне випромінювання формується за рахунок довгоживучих радіонуклідів, таких як уран-238, торій-232 та калій-40 [1]. В умовах міської забудови особливе значення має радон-222 - інертний радіоактивний газ, що здатний накопичуватися в закритих приміщеннях, проникаючи з ґрунту або виділяючись із будівельних матеріалів. Техногенна складова в урбаністичному середовищі зумовлена діяльністю медичних та наукових установ, використанням промислових джерел випромінювання та наслідками минулих радіаційних аварій.

Для оцінки радіаційного стану в містах використовують комплекс методів, що включають дозиметрію та спектрометрію. Основним показником при проведенні моніторингу є потужність еквівалентної дози (ПЕД) гамма-випромінювання. Згідно з рекомендаціями МАГАТЕ, вимірювання мають проводитися на висоті 1 метра від поверхні землі для мінімізації впливу локальних неоднорідностей ґрунту та забезпечення репрезентативності даних щодо опромінення населення [3].

Основними приладами для оперативного контролю радіаційного фону є дозиметри-радіометри, що базуються на різних типах детекторів:

- Газорозрядні лічильники Гейгера-Мюллера: найбільш поширені завдяки надійності та простоті. Вони ефективні для реєстрації потужності дози, проте мають низьку чутливість до енергетичного спектру випромінювання. В Україні для таких цілей часто використовують прилади серії “Терра”.
- Сцинтиляційні детектори (на основі кристалів йодиду натрію, активованого талієм NaI(Tl) або йодиду цезію активованого талієм CsI(Tl)): мають значно вищу чутливість та дозволяють проводити спектрометричний аналіз, ідентифікуючи конкретні радіонукліди, що формують фон[13].
- Напівпровідникові детектори з германієм високої частоти(HPGe): використовуються у лабораторних умовах для високоточного аналізу проб ґрунту, води та повітря завдяки їх надвисокій енергетичній роздільній здатності[13].

В сучасних урбанізованих системах все більшого значення набувають автоматизовані системи моніторингу радіаційного стану, які дозволяють здійснювати безперервний контроль у режимі реального часу. Такі мережі інтегрують стаціонарні пости спостереження, обладнані інтелектуальними датчиками, що передають дані до централізованих баз через бездротові канали зв'язку. Окрім стаціонарних постів, для картування міських територій застосовують мобільні радіологічні лабораторії та переносні GPS-синхронізовані системи, що в свою чергу дозволяє створювати детальні цифрові карти радіаційного фону міста.

1.2. Особливості формування радіаційного фону в індустріальних центрах

Радіаційний фон індустріальних центрів може суттєво відрізнятися від фону рекреаційних територій, або спальних районів через наявність значної кількості об'єктів, що потенційно спричиняють техногенне підсилення природної радіоактивності. Основним чинником цього процесу є накопичення та перерозподіл природних радіонуклідів (ПРН) у результаті виробничих циклів,

що отримало в міжнародній практиці назву TENORM – техногенно-підсилені природні радіоактивні матеріали.

Одним із ключових джерел формування специфічного фону в промислових містах є паливно-енергетичний комплекс. При спалюванні викопного палива, такого як вугілля на теплових електростанціях та у промислових котельнях природні радіонукліди уран-238, торій-232 та продукти їх розпаду, що містилися у паливі в розсіяному стані, концентруються у попелі та шлаках [4]. Об'ємна активність ПРН у таких відходах може бути в десятки разів вищою, ніж у вихідній сировині. Дрібнодисперсні фракції попелу, що викидаються в атмосферу, формують радіоактивні аерозолі, які осідають на міську забудову та ґрунт, створюючи зони локального підвищення ПЕД.

Специфіка індустріальних центрів також зумовлена функціонуванням підприємств важкого виробництва та металообробки. Ризик формування аномальних ділянок пов'язаний із використанням закритих джерел іонізуючого випромінювання (ЗДІВ) для дефектоскопії металів та контролю технологічних процесів. Недотримання норм зберігання або випадкова втрата контролю над такими джерелами, або ж їх потрапляння до металобрухту може призводити до серйозного забруднення промислових зон та територій переробки вторинної сировини.

Формування радіаційного поля в містах також залежить від архітектурно-планувальних особливостей. Висока щільність забудови та використання великої кількості бетону, цегли та гранітного облицювання створюють ефект накопичення гамма-випромінювання за рахунок віддзеркалення та багаторазового розсіювання частинок між стінами будівель. Окрім того, промислові міста характеризуються високим рівнем запиленості атмосфери, де частинки пилу виступають сорбентами для дочірніх продуктів розпаду радону, що сприяє їх тривалому перебуванню в приземному шарі повітря.

Важливим аспектом є також використання промислових відходів у дорожньому будівництві. Використання шлаків металургійного виробництва або фосфогіпсу як основи для доріг в межах міста може створювати лінійно-

протяжні ділянки підвищеного радіаційного фону, що фіксуються під час пішохідної або автомобільної гамма-зйомки.

Таким чином, специфіка індустріального центру полягає у формуванні мозаїчної структури радіаційного фону, де природна складова доповнюється техногенними аномаліями, зумовленими накопиченням відходів, викидами підприємств та особливостями урбаністичного ландшафту.

1.3. Вплив будівельних матеріалів на радіаційний фон приміщень

Будівельні матеріали відіграють подвійну роль у формуванні радіаційного поля приміщень, з одного боку, вони екранують зовнішнє гамма-випромінювання, а з іншого – виступають самостійним джерелом іонізуючого випромінювання за рахунок вмісту природних радіонуклідів. Основними радіоактивними елементами, що входять до складу мінеральної сировини – є радій-226, він же продукт розпаду урану-238, торію-232 та калію-40.

Вплив матеріалів на людину реалізується двома шляхами:

1. Зовнішнє гамма-опромінення: зумовлене потоком фотонів від стін, підлоги та перекриттів. Рівень ПЕД у приміщенні залежить від питомої активності радіонуклідів у матеріалі та масивності конструкцій.
2. Внутрішнє опромінення: пов'язане з проникненням радону ($Rn-222$) та торону ($Rn-220$) з пористої структури матеріалів у повітря приміщень. Радон є продуктом альфа-розпаду радію-226, і його концентрація безпосередньо залежить від швидкості виділення з поверхні стін.

Рівень радіоактивності матеріалів суттєво варіюється залежно від їхнього походження. Природний камінь магматичного походження (граніт, сієніт) зазвичай характеризується вищою питомою активністю порівняно з осадовими породами (вапняк, пісок) або деревиною. Особливу увагу в радіоекології приділяють матеріалам, виготовленим із використанням промислових відходів (TENORM), таким як фосфогіпс, червоний шлам або доменні шлаки, що можуть мати підвищені концентрації радію[4].

В Україні контроль радіоактивності будівельних матеріалів регулюється нормами ДБН В.1.4-1.01-97 [5]. Основним критерієм є сумарна питома активність природних радіонуклідів ($A_{\text{еф}}$).

Згідно з нормативними документами (ДБН В.1.4-1.01-97), цей показник розраховується за формулою:

$$A_{\text{еф}} = A_{\text{Ra}} + 1.31 * A_{\text{Th}} + 0.085 * A_{\text{K}}$$

Де:

$A_{\text{еф}}$ – сумарна питома активність природних радіонуклідів;

A_{Ra} – питома активність Радію-226 у (Ra_{226})Бк/кг;

A_{Th} – питома активність Торію-232 у (Th_{232})Бк/кг;

A_{K} - питома активність Калію-40 у (K_{40})Бк/кг.

Числові коефіцієнти (1.31 та 0.085) у формулі - це дозові коефіцієнти, які приводять активність Торію та Калію до “радієвого еквівалента”. Вони відображають, яку потужність дози гамма-випромінювання створює кожен нуклід порівняно з Радієм-226.

Коефіцієнт 1.31 для Торію свідчить про те, що Торій-232 створює на 31% більше дозового навантаження, ніж така ж кількість Радію-226.

Коефіцієнт 0.085 для Калію вказує на те, що Калій-40 є значно менш радіоактивним. Потрібно приблизно 12 кг Калію-40, щоб створити такий самий радіаційний ефект, як 1 кг Радію-226.

Ця формула дозволяє класифікувати будівельні матеріали за ступенем їхньої безпеки для населення поділяючи на три класи:

I клас – $A_{\text{еф}}$ менше або дорівнює 370 Бк/кг – такі матеріали вважаються безпечними для житлового будівництва.

II клас – 370 менше $A_{\text{еф}}$, але $A_{\text{еф}}$ в свою чергу менше або дорівнює 740 Бк/кг – такі матеріали (наприклад, деякі види граніту) заборонено використовувати всередині житлових будинків, але вони дозволені для будівництва промислових споруд та доріг у межах міста.

III клас – 740 менше $A_{\text{эф}}$, але $A_{\text{эф}}$ менше або дорівнює 1350 Бк/кг – такі матеріали дозволяється використовувати лише для будівництва доріг поза межами населених пунктів або на значній глибині (наприклад, фундаменти, що засипаються ґрунтом).

Міжнародні стандарти, зокрема Директива ЄС 2013/59/Euratom, вводять поняття “індексу концентрації активності” (I) для оцінки ризику перевищення дози 1 мЗв/рік у приміщеннях [6]. Якщо цей індекс перевищує одиницю, матеріал вважається потенційно небезпечним і потребує додаткових досліджень.

Окрім того, сучасні дослідження вказують на те, що застосування енергоефективних технологій (герметизація вікон та дверей) без належної вентиляції може призводити до накопичення радону навіть у будинках, побудованих із матеріалів I класу[15]. Виходячи з цього вибір будівельних матеріалів вимагає ретельного входного контролю сировини на етапі будівництва та моніторингу готових об'єктів.

1.4. Проблема накопичення радону в житлових та громадських приміщеннях

Радон-222 – це радіоактивний інертний газ природного походження, що не має кольору, запаху та смаку, і є продуктом розпаду радію-226 у ланцюгу урану-238. Завдяки своїм фізико-хімічним властивостям радон здатен легко просочитись крізь пори ґрунту та тріщини в будівельних конструкціях, накопичуючись у замкнених просторах до концентрацій, що в десятки разів здатна перевищити рівні на відкритому повітрі[15]. Основними джерелами надходження радону в повітря приміщень є – ґрунтова основа під будівлею, яка забезпечує до 80 - 90% об'ємної активності, будівельні матеріали та водопровідна вода. Проблема накопичення радону в умовах міста посилюється “ефектом димаря”, коли в холодну пору року розрідження повітря на нижніх поверхах всмоктує газ із ґрунту через нещільності фундаменту.

Сучасні методи енергозбереження, такі як встановлення герметичних склопакетів без належної системи вентиляції, призводять до різкого зростання

концентрації радону всередині будівель. Медико-біологічне значення цієї проблеми полягає в тому, що альфа-випромінювання радону та його дочірніх продуктів пошкоджує епітелій дихальних шляхів, що, за даними ВООЗ, є однією з головних причин розвитку раку легень [7].

1.5. Нормативно-правова база України та міжнародні стандарти щодо радіаційної безпеки населення

Забезпечення радіаційної безпеки в Україні регулюється ієрархічною системою нормативних актів, що гармонізовані з міжнародними рекомендаціями МКРЗ (ICRP) та стандартами МАГАТЕ[2, 3]. Основним законодавчим актом є Закон України “Про захист людини від іонізуючого випромінювання”, який визначає межі доз для різних категорій населення [8].

Ключовим документом, що встановлює детальні санітарно-гігієнічні правила, є Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) [9]. Ці правила впроваджують систему лімітів доз, спрямовану на повне виключення детермінованих ефектів та обмеження ймовірності стохастичних ефектів до прийняттого рівня.

Таблиця 1.1

Ліміти річної ефективної дози опромінення (мЗв/рік) [9]

Категорія осіб	Ліміт дози (мЗв/рік)
Персонал категорії А	20
Персонал категорії Б	2
Місцеве населення категорія В	1

Персонал категорії А – особи, які безпосередньо працюють із джерелами.

Персонал категорії Б – особи, робочі місця яких розташовані в зоні впливу джерел.

Місцеве населення, категорія В – категорія, для якої ліміт середньорічної дози складає за будь-які 5 років поспіль.

Окрім лімітів доз, встановлюються також допустимі рівні вмісту радіонуклідів у продуктах харчування, воді та повітрі, а також регламентуються вимоги до радіаційної якості будівельних матеріалів.

Для забезпечення того, щоб річна ефективна доза населення не перевищувала 1 мЗв, встановлюються похідні нормативи – допустимі рівні та допустимі концентрації. Вони регламентують вміст найбільш небезпечних техногенних радіонуклідів (Цезію-137 та Стронцію-90) у продуктах та воді (табл.1.2 – 1.4).

Таблиця 1.2

Допустимі рівні вмісту Цезію-137 та Стронцію-90 у харчових продуктах та питній воді (Бк/кг, Бк/л) [9]

Об'єкт контролю	Цезій -137(Cs^{137})	Стронцій-90(Sr^{90})
Питна вода	2	2
Молоко та молочні продукти	100	20
М'ясо та м'ясопродукти	200	20
Овочі та фрукти	40	20
Хліб та хлібопродукти	20	5

Таблиця 1.3

Нормативи вмісту радону та ПЕД у приміщеннях [9]

Параметр	Норматив для нових будівель	Норматив для старих будівель
Об'ємна активність радону-222 (Бк/м ³)	<50	<100
ПЕД (мкЗв/год)	<0,30	<0,30

Таблиця 1.4

Класифікація будівельних матеріалів за радіаційним чинником [9]

Клас матеріалу	Значення $A_{\text{эф}}$ (Бк/кг)	Сфера використання
I клас	< 370	Всі види будівництва без обмежень (житлові будинки)
II клас	370 - 740	Дорожнє будівництво в межах міста, промислової споруди
III клас	740 - 1350	Дорожнє будівництво поза межами міст, підземні споруди
IV клас	> 1350	Використання заборонено (потребує спеціального дозволу)

Вплив іонізуючого випромінювання на організм людини залежить від отриманої дози. У радіобіології наслідки поділяють на детерміновані, що виникають при досягненні певного порогу та стохастичні - імовірнісні, такі як рак або генетичні мутації (табл. 1.5).

Таблиця 1.5

Орієнтовні наслідки впливу різних рівнів короткочасного опромінення [2]

Отримана доза (мЗв)	Очікувані біологічні наслідки та ефекти
< 100	Клінічно виражені симптоми відсутні; мінімальний ризик стохастичних ефектів.
100 - 500	Можливі тимчасові зміни у складі крові; підвищення ризику онкологічних захворювань у майбутньому.
1000 (1 Зв)	Поріг розвитку гострої променевої хвороби (ГПХ) легкого ступеня: нудота, втома.
3000 - 5000	ГПХ середнього та важкого ступеня; без лікування летальність становить близько 50%.
> 10 000	Летальна доза; смерть настає протягом кількох днів або тижнів.

Загалом, сучасна система радіаційної гігієни ґрунтується на концепції, згідно з якою будь-яке опромінення може нести певний ризик. Тому законодавство України, гармонізоване з рекомендаціями МКРЗ (Публікація 103) та стандартами МАГАТЕ, базується на трьох фундаментальних принципах [2]:

Перший принцип – принцип виправданості, де будь-яка діяльність, що супроводжується опроміненням, повинна приносити більше користі, ніж шкоди[2].

Другий принцип – принцип оптимізації де рівні опромінення повинні підтримуватися на настільки низькому рівні, наскільки це можливо з урахуванням економічних та соціальних факторів [2].

Третій принцип – сумарна доза опромінення від усіх техногенних джерел не повинна перевищувати встановлені ліміти .

Згідно з міжнародними стандартами безпеки (IAEA GSR Part 3), нормативне регулювання поділяється залежно від характеру ситуації :

- Планове опромінення: діяльність із джерелами випромінювання (медицина, промисловість). Застосовуються жорсткі ліміти доз[3].
- Аварійне опромінення: непередбачувані ситуації, де діють рівні втручання.
- Існуюче опромінення: ситуації, що вже існують на момент прийняття рішення про контроль. До них відноситься природний фон та радіоактивність будівельних матеріалів і радону в приміщеннях [15].

Основним інструментом контролю в Україні є ліміти ефективної дози, які обмежують імовірність виникнення стохастичних ефектів (раку, генетичних мутацій) (табл. 1.6).

Таблиця 1.6

Ліміти річної ефективної та еквівалентної доз (мЗв/рік) [9]

Об'єкт нормування	Категорія А (персонал)	Категорія В (населення)
Ефективна доза (на все тіло)	20	1
Еквівалентна доза для кришталика ока	20	15
Еквівалентна доза для шкіри	500	50
Еквівалентна доза для кистей та стоп	500	50

Розуміння біологічного впливу випромінювання є ключовим для оцінки екологічних ризиків. Наслідки поділяють на дві групи:

Перша група – стохастичні ефекти, вони не мають порогу. Вважається, що навіть малі дози лінійно підвищують імовірність раку.

Друга група – детерміновані ефекти, які мають чіткий поріг, нижче якого ефект не спостерігається.

Таблиця 1.7

Порогові дози для виникнення детермінованих ефектів (Гр) [2]

Орган / Ефект	Доза (Гр / Зв)	Характер наслідків
Кришталік ока	0.5	Променева катаракта (при тривалому впливі)
Шкіра	2.0	Радіаційна еритема (почервоніння)
Червоний кістковий мозок	0.5	Тимчасове пригнічення кровотворення
Сперматозоїди/Яйцеклітини	0.2 – 0.5	Тимчасова стерильність

В умовах нормального функціонування міської інфраструктури такі дози зазвичай не досягаються, проте тривалий вплив низьких доз від природних джерел (радон, будматеріали) формує хронічне опромінення, яке потребує постійного моніторингу через ризик накопичувального ефекту.

РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ У М.ХАРКІВ

2.1. Фізико-географічна, геологічна та екологічна характеристика м. Харків

Харків доволі багатогранне місто, яке включає в себе найбільший індустріальний, науковий та культурний центр лівобережної України, розташований на північному сході держави в межах Придніпровської низовини та відрогів Середньоруської височини. Географічне положення міста на вододільному плато та в долинах річок Харків, Лопань, Уди та Немишля визначає особливості розповсюдження радіонуклідів у приземному шарі атмосфери та їх міграцію з водними потоками[10].

Територія міста розташована в межах Дніпровсько-Донецької западини. Геологічний розріз представлений потужними товщами осадових порід:

- Крейдяні та палеогенові відклади: вапняки, мергелі та піски, що залягають в основі та можуть містити природні включення радіонуклідів.
- Четвертинні відклади: переважно лесовидні суглинки та піщано-глинисті породи, на яких сформувалися чорноземи типові та деградовані [10].
- Радоновий потенціал: геологічна будова Харкова характеризується наявністю тектонічних розломів та неоднорідністю порід, що створює сприятливі умови для дифузії радону-222 з глибинних шарів до фундаментів будівель.

Клімат Харкова – помірно-континентальний, що характеризується чіткою сезонністю. Для радіоекологічного моніторингу важливими є чинники вітрового режиму до якого входять переважання східних та західних вітрів впливає на перенесення аерозолів від промислових майданчиків до житлових масивів, та теплові інверсії, де у зимовий період, вони сприяють накопиченню радіоактивних продуктів розпаду в нижніх шарах повітря через відсутність вертикального перемішування мас.

Харків є потужним вузлом з високою концентрацією промислових об'єктів, що впливають на формування радіаційного фону. До таких об'єктів можна віднести:

- Енергетика: ТЕЦ-3 та ТЕЦ-5, які використовують органічне паливо, є джерелами викидів мікрочастинок попелу з підвищеним вмістом природних радіонуклідів (Радію-226 та Торію-232).
- Промисловість: Машинобудівні гіганти та науково-дослідні інститути, що історично використовували джерела іонізуючого випромінювання для дефектоскопії та експериментів.
- Урбанізація: Висока щільність забудови та значна кількість асфальтобетонного покриття змінюють природний гамма-фон міста, створюючи специфічний “урбаністичний ландшафт” випромінювання.

2.2. Принцип вибору контрольних точок для проведення замірів

Задля забезпечення репрезентативності результатів та виявлення просторової неоднорідності радіаційного фону території м. Харкова, вибір точок відбувався за функціональним призначенням та типом антропогенного навантаження. Вибір контрольних точок базувався на комплексному аналізі потенційних джерел радіаційного ризику, включаючи геологічні чинники, особливості будівельних матеріалів та специфіку міської інфраструктури.

Дослідження житлових зон дозволяє оцінити щоденне дозове навантаження на населення, яке значну частину часу перебуває в приміщеннях та на прибудинкових територіях. Для порівняльного аналізу було обрано три контрастні локації:

Історичний центр: характеризується щільною малою та середньо поверховою забудовою кінця XIX - початку XX ст. Основним будівельним матеріалом є керамічна цегла, мармурове та гранітне оздоблення та внутрішня архітектура, яка може мати підвищений вміст природних радіонуклідів порівняно з піщаними сумішами[5].

Салтівський масив: найбільший житловий район, забудований переважно панельними будинками 1970-1990-х років. Тут ключовим фактором є екрануюча здатність залізобетонних конструкцій та потенційне накопичення радону на нижніх поверхах [15].

Олексіївка: відносно сучасний район із переважанням монолітно-каркасного будівництва та великою кількістю відкритих просторів, що дозволяє оцінити вплив суміші старих та новітніх будівельних технологій на формування радіаційного фону.

У індустріальних та вузлових зонах досліджується внесок техногенно-підсиленого природного фону, що виникає внаслідок промислової діяльності та інтенсивних транспортних потоків:

Індустріальний район: зона концентрації великих підприємств машинобудування та енергетики. Вибір цієї локації зумовлений необхідністю моніторингу можливого накопичення радіонуклідів у ґрунтовому покриві внаслідок багаторічних викидів підприємств .

Район Харківського вокзалу: один з великих транспортних вузлів України. Поєднання інтенсивного руху залізничного транспорту, великої площі асфальтобетонного покриття та специфічних гранітних елементів оздоблення створює потенційні умови для формування локальних радіаційних аномалій. Вивчення паркових територій є необхідним для визначення умовно-природного фону міста, де вплив будівельних матеріалів та промисловості є мінімальним:

Центральний парк та Саржин Яр: ці об'єкти розташовані в межах лісопаркового масиву та характеризуються виходом на поверхню природних ґрунтів. Саржин Яр також цікавий з погляду виходу підземних вод, які можуть бути переносниками радону з глибинних геологічних шарів.

Харківський метрополітен є специфічним об'єктом дослідження через значну глибину залягання та використання граніту в облицюванні станцій:

Станції Ярослава Мудрого, Університет, Історичний музей: належать до глибокого закладання [11]. Основними факторами радіаційного впливу тут є природна радіоактивність гранітних порід облицювання та обмежений

повітрообмін, що може сприяти накопиченню дочірніх продуктів розпаду радону в повітрі робочої зони та пасажирських залів[15].

2.3. Характеристика дозиметричного обладнання

Для проведення радіоекологічного моніторингу території м. Харкова було використано мікропроцесорний дозиметр-радіометр МКС-05 “ТЕРРА-П”. Даний прилад є професійно орієнтованим засобом вимірювання, що внесений до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки України та відповідає вимогам стандартів щодо радіаційного контролю .

Прилад побудований на основі газорозрядного лічильника Гейгера-Мюллера (типу СБМ-20-1), що забезпечує високу чутливість до гамма-випромінювання та жорсткого бета-випромінювання [12]. Вибір даного обладнання зумовлений його компактністю, надійністю в польових умовах та можливістю оперативного зняття показників ПЕД (потужності еквівалентної дози).

Таблиця 2.1

Технічні характеристики дозиметра-радіометра МКС-05 “ТЕРРА-П” [12]

Параметр	Значення та одиниці виміру
Діапазон вимірювання ПЕД гамма-випромінювання	0,1 – 999,9 мкЗв/год
Енергетичний діапазон гамма-випромінювання	0,05 – 3,0 MeV
Основна відносна допустима похибка	+/-25%
Час встановлення показників	5 – 70 секунд
Тип детектора	Газорозрядний лічильник СБМ-20-1

Прилад працює в режимі автоматичного осереднення результатів, проте для підвищення достовірності даних у кожній контрольній точці було застосовано методику п'ятикратного повторення замірів із подальшим розрахунком середнього арифметичного значення. Конструкція приладу дозволяє реєструвати потужність дози в широкому діапазоні температур (від -20 до +50 °C), що забезпечує стабільність результатів незалежно від мікрокліматичних особливостей різних зон Харкова.

2.4. Методика вимірювання потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання та статистичної обробки результатів

Методика проведення радіоекологічних досліджень на території м. Харків базувалася на загальноприйнятих принципах дозиметричного контролю в умовах населених пунктів та відповідала вимогам чинних нормативних документів.

Для мінімізації впливу випадкових факторів та забезпечення порівнюваності даних, вимірювання потужності еквівалентної дози (ПЕД) гамма-випромінювання виконувалося за наступним алгоритмом:

1. Геометрія вимірювання: Дозиметр МКС-05 “ТЕРРА-П” розміщувався на висоті 1 м від поверхні землі (асфальтового покриття або підлоги станцій метро), що відповідає рівню критичних органів людини та є стандартом для оцінки зовнішнього опромінення населення [13].
2. Орієнтація приладу: Детектор приладу спрямовувався паралельно поверхні дослідження. При проведенні замірів поблизу будівельних конструкцій (в історичному центрі або метрополітені) витримувалася відстань не менше 0,5 м від стін для виключення крайових ефектів випромінювання.

Експозиція та повторюваність: У кожній із обраних контрольних точок проводилося по 5 паралельних вимірювань. Такий підхід дозволяє нівелювати статистичні похибки, властиві газорозрядним лічильникам[12].

Обробка отриманих експериментальних даних здійснювалася методами варіаційної статистики. Для кожної контрольної точки розраховувалось середнє арифметичне значення ПЕД за формулою:

$$N_{\text{сер}} = (N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5) / 5 \quad (2.1)$$

Де:

$N_{\text{сер}}$ – середнє значення ПЕД у контрольній точці (мкЗв/год);

N_1, N_2, N_3, N_4, N_5 – результати п'яти послідовних вимірювань у цій точці;

5 – кількість проведених замірів.

Для оцінки точності отриманих результатів проводилася перевірка на наявність грубих “промахів” та розраховувалася стандартна похибка середнього показника. Оскільки основна відносна похибка приладу становить $\pm 25\%$, отримані середні значення ПЕД вважаються репрезентативними для загальної характеристики радіаційної обстановки досліджуваних районів.

РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ, ОЦІНКА РАДІАЦІЙНИХ РИЗИКІВ ТА ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ В М.ХАРКІВ

3.1. Загальна оцінка ПЕД гамма-випромінювання на відкритій місцевості

На основі проведених експериментальних досліджень у різних чотирьох адміністративних районах Харкова було отримано дані щодо потужності еквівалентної дози (ПЕД) гамма-випромінювання в квадратах, де проводилось дослідження. Отримані результати відображають поточну радіо-екологічну ситуацію в умовах щільної забудови, що сформувалася під впливом природного фону та антропогенної трансформації середовища[10].

Для систематизації даних результати вимірювань на відкритій місцевості (за виключенням підземних споруд) згруповані за функціональними квадратами та представлені у вигляді середніх значень (Таблиця 3.1).

Таблиця 3.1

Результати вимірювання ПЕД на відкритій місцевості м. Харкова

Об'єкт дослідження (квадрат)	Кількість точок на один квадрат	Діапазон значень (мкЗв/год)	Середнє значення (Н ^г), мкЗв/год
Історичний центр	5	0,15 – 0,45	0,246
Салтівський масив	5	0,14 – 0,24	0,170
Олексіївка	5	0,14 – 0,17	0,154
Індустріальний район	4	0,12 – 0,24	0,166
Район залізничного вокзалу	5	0,14 – 0,20	0,176
Центральний парк	5	0,15 – 0,18	0,160
Саржин Яр	5	0,14 – 0,32	0,192



Рис 3.1 – Контрольні точки вимірів радіаційного фону у Історичному центрі

Таблиця 3.2

Адреси та показники кожної контрольної точки у Історичному центрі

Адреса заміру	Показник мкЗв/год
Сквер Тихонова вул. Ключківська	0.45
Сергіївський майдан (Флагшток)	0.17
вул. Благовіщенська 15	0.26
вул. Чоботарська 31/33	0.15
вул. Полтавський шлях 24а (Сквер мислителів)	0.18



Рис 3.2 – Контрольні точки вимірів радіаційного фону у районі Салтівського масиву

Таблиця 3.3

Адреси та показники кожної контрольної точки у Салтівському районі

Адреса точки заміру	Показник мкЗв/год
вул.Гвардійців - Широнінців 88	0.17
вул.Гвардійців - Широнінців 86	0.24
вул.Гвардійців - Широнінців 94	0.15
вул. Метробудівників 34	0.15
вул. Соборності України 263	0.14

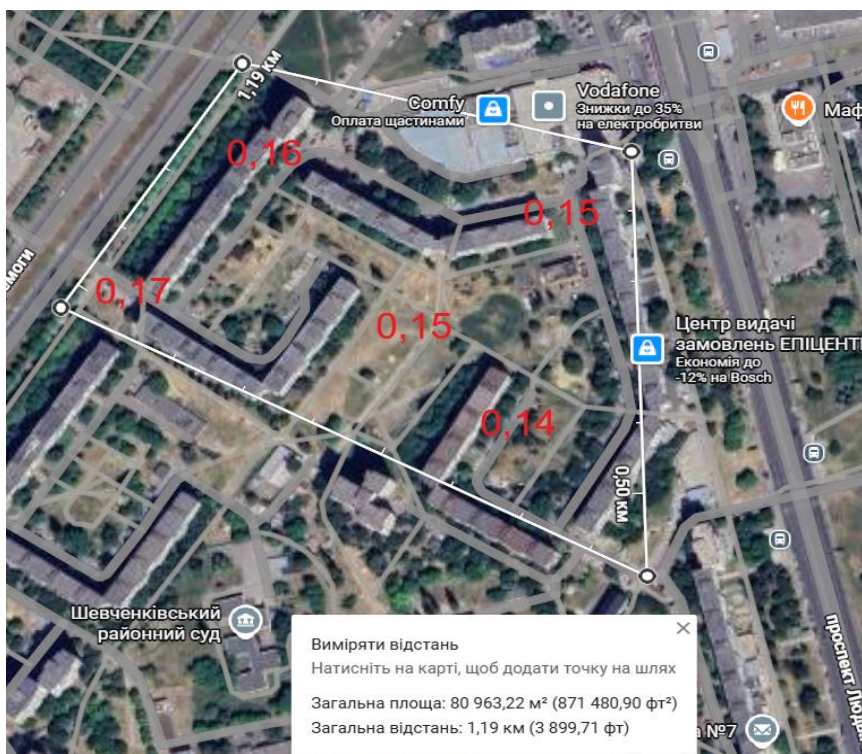


Рис 3.3 – Контрольні точки вимірів радіаційного фону у масиві Олексіївка
Шевченківського району

Таблиця 3.4

Адреси та показники кожної контрольної точки у Шевченківському районі

Адреса заміру	Показник мкЗв/год
проспект Людвіга Свободи 43	0.15
проспект Людвіга Свободи 39а	0.14
проспект Перемоги 60а	0.15
проспект Перемоги 53а	0.17
проспект Перемоги 58	0.16

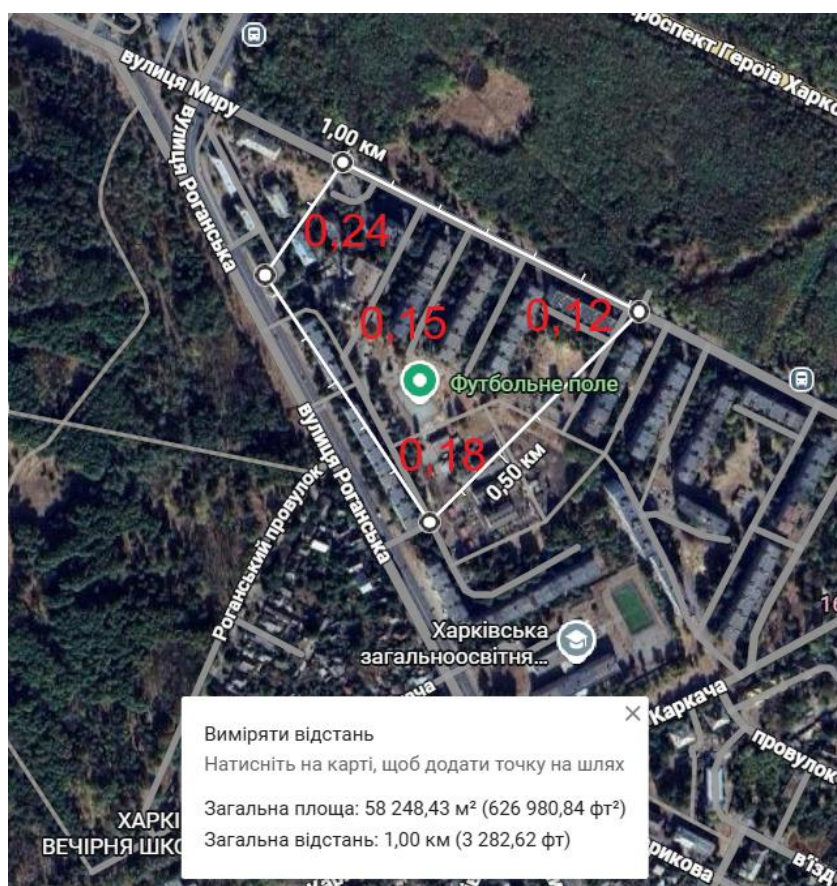


Рис 3.4 – Контрольні точки вимірів радіаційного фону у Індустріальному районі

Таблиця 3.5

Адреси та показники кожної контрольної точки у Індустріальному районі

Адреса заміру	Показник мкЗв/год
вул.Миру 60	0.24
вул. Миру 82	0.12
вул.Миру 78	0.15
вул.Роганська 13	0.18

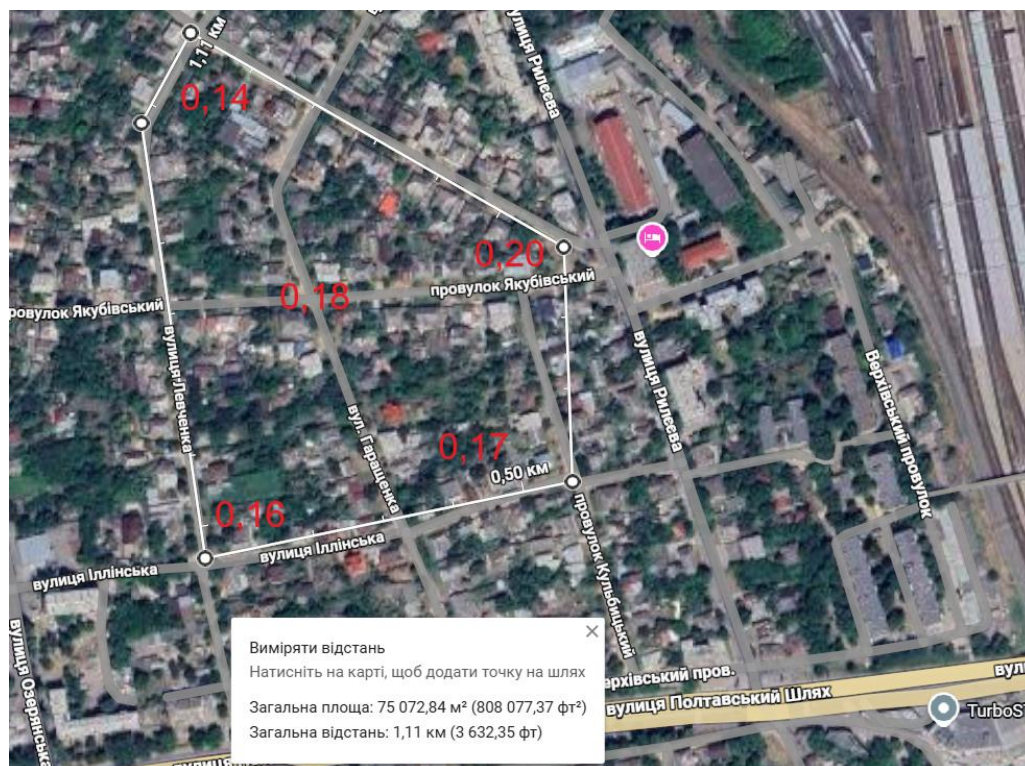


Рис 3.5 – Контрольні точки вимірів радіаційного фону у районі Залізничного вокзалу Холодногірського району

Таблиця 3.6

Адреси та показники кожної контрольної точки у районі
Залізничного вокзалу Холодногірського району

Адреса заміру	Показник мкЗв/год
Провулок Якубівський 2	0.20
вул. Іллінська 18	0.17
Вул. Левченка 7	0.16
Провулок Якубівський 24	0.18
Вул. Левченка 31	0.14

Аналіз отриманих даних свідчить, що в цілому радіаційний фон на відкритій місцевості в перевірених квадратах Харкова коливається в межах 0,12 - 0,27 мкЗв/год. Більшість показників відповідають типовому природному фону для даної географічної зони та не перевищують контрольний рівень, встановлений НРБУ-97 для територій забудови (0,30 мкЗв/год) [14]. Проте виявлено локальні перевищення та підвищені значення в окремих точках, що потребують окремої уваги.

Найвищі показники зафіксовано в Історичному центрі, де середнє значення становить 0,246 мкЗв/год, а максимальне досягає 0,45 мкЗв/год. Таке зростання фону пояснюється специфікою архітектурного середовища: використанням значної кількості гранітного облицювання, керамічної цегли старих зразків та ефектом накопичення у щільній забудові. Значення 0,45 мкЗв/год є аномальним для відкритої місцевості та пов'язане з безпосередньою близькістю до масивних гранітних елементів або специфічних будівельних матеріалів.

У рекреаційних зонах (Центральний парк) спостерігається стабільний та низький фон (0,16 мкЗв/год), що близький до природного. Винятком є Саржин Яр, де зафіксовано точковий, локальний сплеск до 0,32 мкЗв/год. Оскільки ця локація розташована в зоні ерозійного розчленування рельєфу, такий показник може бути наслідком локального виходу порід із підвищеною еманацією радону або впливом гранітних конструкцій благоустрою. Житлові масиви (Салтівка, Олексіївка) демонструють помірні показники, що підтверджує гіпотезу про відносну радіаційну безпеку сучасних спальних районів поряд із високим вмістом природних радіонуклідів.

3.2. Порівняльний аналіз радіаційного фону

Комплексний аналіз отриманих даних дозволяє провести порівняльну характеристику квадратів з показниками радіаційного стану різних сегментів міського середовища Харкова. Для наочності порівняння середніх показників

ПЕД за всіма категоріями об'єктів представлено в узагальнюючій таблиці (Таблиця 3.7).

Таблиця 3.7

Порівняльна характеристика ПЕД у різних функціональних зонах м. Харкова

Категорія об'єктів	Середнє значення (Н ⁺), мкЗв/год	Максимальне значення, мкЗв/год	Відхилення від середньо міського фону
Житлові масиви (Олексіївка, Салтівка)	0,162	0,25	-
Історичний центр	0,246	0,45	+52%
Рекреаційні зони (Парк, Яр)	0,176	0,32	+8%
Промислово-транспортні зони	0,171	0,24	+5%
Підземні споруди (Метрополітен)	0,192	0,42	+18%

Порівняння житлових зон продемонструвало значну неоднорідність. У той час як сучасні райони (Олексіївка - 0,154 мкЗв/год) мають стабільно низькі показники, Історичний центр демонструє найвищий рівень гамма-фону серед усіх наземних об'єктів (0,246 мкЗв/год). Це підтверджує те, що стара цегляна забудова та велика кількість гранітних цоклів, фасадів та інших елементів створюють додаткове радіаційне навантаження порівняно з панельним або монолітним будівництвом.

Інтерес викликає порівняння станцій метрополітену. Середній показник по метро (0,192 мкЗв/год) дещо вищий за середній показник відкритих територій. Проте всередині самої мережі метро спостерігається суттєвий градієнт:

- Станції Ярослава Мудрого та Університет мають фон, що практично не відрізняється від поверхневого (0,15–0,16 мкЗв/год).

- Станція Історичний музей демонструє аномальне зростання до 0,268 мкЗв/год (середнє) з піком 0,42 мкЗв/год на вуличній частині.

Така різниця між станціями пояснюється типом оздоблювальних матеріалів: інтенсивне використання певних видів граніту (наприклад, лезниківського або капустинського родовищ), що мають вищий вміст природних радіонуклідів, є домінуючим фактором формування фону в метрополітені [15].

При порівнянні результатів із законодавчими нормами (НРБУ-97), можна зробити висновок, що 90% досліджених точок знаходяться в межах норми для існуючих об'єктів. Проте зафіксовані максимуми в Історичному центрі (0,45 мкЗв/год) та на поверхневій частині станції Історичний музей (0,42 мкЗв/год) перевищують рекомендований поріг (0,30 мкЗв/год). Це свідчить про наявність локальних радіаційних аномалій, зумовлених виключно природною складовою будівельних матеріалів, а не техногенним забрудненням.

Таким чином, радіаційний ландшафт Харкова є типовим для великого урбанізованого центру з чітко вираженою залежністю від геологічного походження матеріалів міського середовища.

3.3. Виявлення локальних відхилень від середнього радіаційного фону Харкова

Аналіз отриманих даних дозволив виявити ключові локації з аномальними відносно середнього фону показниками ПЕД, що є важливим для формування карти радіаційної безпеки міста. Такі відхилення мають переважно природне походження та чітку географічну прив'язку до певних архітектурних та ландшафтних зон.

За результатами моніторингу було виділено три типи відхилень:

1. Архітектурно-матеріальні аномалії: Найбільш виражене відхилення зафіксовано в Історичному центрі (0,45 мкЗв/год). Значення у 2,5 раза перевищує

середні показники по спальних районах міста. Основним чинником є гранітне покриття та використання будівельної цегли з високим вмістом природних радіонуклідів калію-40, торію-232 та урану-238.

2. Ландшафтно-геологічні відхилення: Показник у Саржиному Яру (0,32 мкЗв/год) вказує на локальне посилення фону в точці заміру, що може бути пов'язано з наявністю радіоактивних елементів в об'єкті дослідження.

3. Підвищені показники на верхній частині станції Історичний музей (0,42 мкЗв/год) підтверджують вплив масивного оздоблення природним каменем на формування підвищеного радіаційного середовища.

3.4. Розрахунок індивідуального та колективного дозового навантаження на населення різних районів міста

Для переходу від вимірних значень ПЕД до оцінки біологічного впливу на організм людини необхідно розрахувати річну ефективну дозу опромінення. Даний показник дозволяє оцінити ймовірність виникнення стохастичних ефектів у населення, що проживає на досліджуваних територіях .

Розрахунок річної індивідуальної дози:

$$E_{\text{річна}} = H_{\text{сер}} * T * K * 0,001$$

Де:

$E_{\text{річна}}$ - річна ефективна доза опромінення (мЗв/рік);

$H_{\text{сер}}$ - середнє значення ПЕД у районі (мкЗв/год);

T - час перебування на відкритій місцевості за рік (приблизно 1752 год);

K - коефіцієнт переходу (0,7);

0,001 - множник для переведення мікросівертів (мкЗв) у мілізіверти (мЗв).

Для порівняльного аналізу в Таблиці 3.8 наведено розрахунки потенційної річної дози при постійному перебуванні на відкритій місцевості перевірених квадратів в межах обраних районів.

Таблиця 3.8

Розрахункові значення річної індивідуальної ефективної дози

Район квадрату дослідження	Середнє Нсер, мкЗв/год	Річна доза Ерічна, мЗв/рік	Відхилення від ліміту (1 мЗв/рік)
Шевченківський	0,246	1,51	+0,51
Салтівський	0,170	1,04	+0,04
Індустріальний	0,166	1,02	+0,02

Колективна ефективна доза (S) відображає сумарне радіаційне навантаження на всю популяцію району та розраховується як добуток середньої індивідуальної дози на чисельність населення:

$$S = E * N$$

де N – кількість мешканців району.

Зважаючи на те, що Салтівський район є найбільш густозаселеним районом не лише Харкова, а й України (понад 400 тис. осіб), навіть за відносно низьких показників ПЕД (0,17 мкЗв/год), колективне дозове навантаження тут буде найвищим. Натомість у Шевченківському районі спостерігається вищий індивідуальний ризик для окремих осіб, що тривалий час перебувають у зоні із ПЕД 0,45 мкЗв/год.

Отримані значення річних доз у межах 1,02 -1,51 мЗв/рік в цілому вкладаються в діапазон варіацій природного радіаційного фону, характерного

для Східної Європи. Проте, показник у 1,51 мЗв/рік для Шевченківського району вказує на те, що за рахунок архітектурних особливостей (граніт, цегла) мешканці центру отримують на 30-40% більше опромінення, ніж жителі спальних масивів [16].

З точки зору радіаційної безпеки, дані рівні не потребують негайних дезактиваційних заходів, проте підтверджують необхідність використання будівельних матеріалів I класу радіаційної якості при реконструкції історичних об'єктів та постійного моніторингу радонової безпеки в підземних спорудах.

3.5. Рекомендації щодо оптимізації системи екологічного моніторингу та шляхи мінімізації впливу радіаційного фактора на жителів

На основі отриманих результатів та виявлених локальних відхилень ПЕД розроблено комплекс заходів, спрямованих на вдосконалення системи радіоекологічного контролю м. Харкова та зниження дозового навантаження на населення .

Існуюча система спостережень потребує модернізації через перехід від періодичних замірів до безперервного автоматизованого контролю. Основними кроками є:

Впровадження мережі автоматизованих датчиків: Встановлення стаціонарних постів моніторингу в зонах з підвищеною варіативністю фону з інтеграцією даних у загальноміську систему “Smart City”. Це дозволить оперативно виявляти випадкові техногенні аномалії.

Розширення параметрів контролю: Окрім вимірювання ПЕД гамма-випромінювання, необхідно впровадити регулярний контроль еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону-222, особливо в підземних спорудах метрополітену та підвальних приміщеннях старого житлового фонду центру міста.

Цифровізація даних: Створення просунутої та відкритої інтерактивної

радіоекологічної карти Харкова на основі ГІС-технологій для інформування населення та фахівців з містобудування.

Для зниження індивідуальних та колективних доз опромінення пропонуються такі заходи:

Радіаційний контроль будівельних матеріалів: Посилення вхідного контролю граніту, щебеню та керамічної цегли, що використовуються при реконструкції історичного центру. Перевага має надаватися матеріалам І класу радіаційної якості (активність < 370 Бк/кг), що мінімізує гранітний фон у місцях масового скупчення людей.

Архітектурно-планувальні рішення: При проектуванні нових житлових масивів слід передбачати створення захисних ландшафтних зон з використанням порід дерев, що сприяють кращому розсіюванню аерозолів. Також рекомендується проведення радонозахисних заходів (герметизація фундаментів) при будівництві в районах з інтенсивним ерозійним розчленуванням.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Аналіз побутових та техногенних факторів небезпеки під час руху за маршрутом

Проведення екологічного моніторингу в сучасному мегаполісі вимагає від дослідника комплексної оцінки середовища, в якому виконуються роботи. Традиційно в радіоекологічних працях лівова частина уваги приділяється безпосередньо іонізуючому випромінюванню. Проте, оскільки зафіксовані під час дослідження Харкова рівні потужності еквівалентної дози (ПЕД) перебувають у межах (0,12–0,30 мкЗв/год) за винятком двох точок (0,42 та 0,45 мкЗв/год) і здебільшого відображають лише коливання природного фону, реальний стохастичний ризик для здоров'я від радіаційного чинника за час проведення замірів вкрай малоімовірний.

Натомість на перший план виступають класичні небезпеки міського середовища, пов'язані з логістикою, переміщенням пішохідними та транспортними зонами, тривалою концентрацією уваги на екрані приладу та загальним психофізіологічним навантаженням. Відповідно до Закону України “Про охорону праці” та Кодексу законів про працю, головною метою цього розділу є обґрунтування заходів безпеки під час польових вимірювань у чотирьох районах міста та при подальшому комп'ютерному моделюванні результатів.

Експериментальна частина дослідження передбачала покриття площ міста, включаючи житлові масиви (Салтівка, Олексіївка), великі транспортні вузли (район вокзалу) та рекреаційні зони (Центральний парк, Саржин Яр). За класифікацією ГОСТ 12.0.003-74, основними небезпечними факторами в таких умовах стають фізичні та психофізіологічні чинники, не пов'язані з радіацією.

Головною загрозою під час натурних вимірювань є неуважність та втрата пильності під час руху. Дозиметр-радіометр МКС-05 “ТЕРРА-П” вимагає певного часу для стабілізації показників (від 5 до 70 секунд) та п'ятикратного

повторення процесу в кожній контрольній точці. Наукова заглибленість у моніторинг екрана приладу, фіксація цифр у журналі спостережень суттєво знижують периферійний зір та концентрацію дослідника на навколишній обстановці. Це створює високий ризик дорожньо-транспортного травматизму при виконанні замірів поблизу проїжджої частини, перетині нерегульованих перехресть або русі вздовж трамвайних колій.

Другим важливим фактором є робота в умовах інтенсивних пасажиропотоків та специфічних архітектурних просторів. Обстеження станцій метрополітену та підземних переходів вимагає від дослідника підвищеної пильності через ризик зіткнення з пішоходами, падіння з ескалатора чи краю платформи під час фокусування уваги на приладі. Додатково, тривале перебування у замкнутих підземних просторах з великим скупченням людей створює мікрокліматичний дискомфорт.

У лісопаркових зонах (Саржин Яр) вагомими чинниками стають природні загрози: нерівності рельєфу, ризик оступитися на схилах, а також біологічні фактори (наприклад, активність кліщів у весняно-літній період), що вимагає базової обережності при виборі траєкторії руху.

4.2. Організаційні заходи безпеки та правила поведінки на маршруті

Для мінімізації ризиків, пов'язаних із людським фактором та міською інфраструктурою, було розроблено та практично реалізовано комплекс простих, але ефективних правил безпеки життєдіяльності:

- Безпека в транспортних вузлах: Під час вимірювань у районі вокзалу чи біля станцій метро фіксація ПЕД здійснюється на безпечній дистанції, від колій, або ж автомобільних трас, що унеможлиблюють випадковий вихід на смугу руху транспорту. У метрополітені всі вимірювання проводяться виключно на безпечній відстані від краю платформи (за обмежувальною лінією) та у періоди мінімального навантаження станцій (поза годинами пік), щоб уникнути штовханнини.

- Ергономіка та одяг: Для захисту від комах та інших чинників у рекреаційних зонах та запобігання травмам ніг використовувалося закрите взуття на жорсткій неслизькій підошві та щільний одяг. Для зниження навантаження на руку при утриманні дозиметра на нормативній висоті 1 метр від поверхні землі, вимірювання чергувалися з короткими паузами для відпочинку м'язів плечового поясу.

4.3. Охорона праці на етапі камерального аналізу

Після збору польових даних процес дослідження переходить у кабінетну стадію – обробку даних за допомогою комп'ютера. Організація цього етапу спрямована на боротьбу із зоровою втомою та гіподинамією.

Робоче місце дослідника організовано з урахуванням оптимізації світлового середовища: монітор ПК встановлено під прямим кутом до вікна, що усуває дзеркальні блики, які викликають передчасну втому очей. Відстань від органів зору до екрана становить оптимальні 60 - 70 см. Оскільки аналіз даних по чотирьох районах Харкова потребує тривалого сидіння, особлива увага приділяється поставі та ергономіці крісла для запобігання застійним явищам у хребті.

Зважаючи на високу монотонність та психоемоційну напруженість під час розрахунків, встановлено жорсткий регламент праці: після кожних 45 хвилин безперервної праці за комп'ютером впроваджується обов'язкова 10-хвилинна перерва. Цей час використовується для виконання комплексу вправ для очей (фокусування на відстані) та легкої фізичної розминки.

ВИСНОВКИ

Проведено комплексне дослідження радіаційного стану урбаністичного середовища м. Харкова, за результатами якого зроблено наступні висновки:

1. Аналіз теоретичної бази засвідчив, що формування радіаційного фону сучасного великого міста - є складним процесом, де природна складова тісно переплітається з антропогенними факторами, а саме використанням специфічних будівельних матеріалів та розвитком підземної інфраструктури.

2. Обґрунтовано методику досліджень, яка базувалася на використанні дозиметра-радіометра МКС-05 “ТЕРРА-П” та п'ятикратному повторенні замірів у кожній із контрольних точок. Такий підхід дозволив мінімізувати статистичну похибку та отримати достовірні дані для 4 адміністративних районів та ключових об'єктів інфраструктури.

3. Встановлено фактичні показники ПЕД, які в цілому коливаються в межах 0,12 - 0,45 мЗв/год. Більшість територій міста мають стабільний фон (- 0,15 - 0,17 мЗв/год), що відповідає нормам радіаційної безпеки України.

4. Виявлено локальні аномалії, пов'язані з архітектурними особливостями міста. Найвищі значення зафіксовано в Історичному центрі (0,45 мЗв/год) та на станції метро Історичний музей (0,42 мЗв/год). Ці відхилення мають природне походження та зумовлені використанням гранітного облицювання з підвищеним вмістом природних радіонуклідів.

5. Розраховано дозове навантаження на населення, яке становить від 1,02 до 1,51 мЗв/рік. Попри те, що ці значення дещо перевищують ліміт у 1 мЗв/рік для нових об'єктів, вони знаходяться в межах природних варіацій фону і не створюють безпосередньої загрози здоров'ю, проте потребують постійного контролю.

6. Запропоновано заходи з оптимізації моніторингу, зокрема впровадження автоматизованих постів контролю ПЕД та радону, а також посилення радіаційного контролю будівельних матеріалів при проведенні реставраційних робіт у центрі міста.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гудков І. М. Радіобіологія : підручник. Київ : НУБіП України, 2016. 485 с. URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2021/Gudkov_2016_485.pdf
2. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Annals of the ICRP. 2007. Vol. 37, No. 2-4. P. 1-332. URL: [https://www.icrp.org/docs/icrp_publication_103-annals_of_the_icrp_37\(2-4\)-free_extract.pdf](https://www.icrp.org/docs/icrp_publication_103-annals_of_the_icrp_37(2-4)-free_extract.pdf)
3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards : IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. Vienna : IAEA, 2014. 471 p. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1578_web-57265295.pdf
4. Саввін О. В., Сухарева М. В., Мешкова А. Г., Суліменко С. Є. Радіоекологія : навч. посіб. Запоріжжя : ЗНУ, 2024. 135 с. URL: <https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi78/0058057.pdf>
5. ДБН В.1.4-1.01-97. Система норм та правил зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів в будівництві. Регламентовані радіаційні параметри. Допустимі рівні. [Чинний від 1998-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держкоммістобудування України, 1997. 16 с. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-988>
6. Директива Ради 2013/59/Євратом від 5 грудня 2013 року, що встановлює основні норми безпеки для захисту від загроз, зумовлених впливом іонізуючого випромінювання. Офіційний вісник Європейського Союзу. 2014. L 13. С. 1-73. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/UK/TXT/?uri=celex%3A32013L0059>
7. Radon and health : Fact sheet. World Health organization. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>
8. Про захист людини від іонізуючого випромінювання : Закон України від 14.01.1998 р. № 15/98-ВР. Відомості Верховної Ради України. 1998. № 22. Ст. 115. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/15/98-%D0%B2%D1%80>
9. ДГН 6.6.1.-6.5.001-98. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). [Чинний від 1998-01-01]. Вид. офіц. Київ : Відділ поліграфії УкрНЦРМ, 1998. 125 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97>
10. Екологічний паспорт Харківської області / Харківська обласна військова адміністрація. Харків, 2024. 245 с. URL: <https://kharkivoda.gov.ua/oblasna-derzhavna-administratsiya/struktura-administratsiyi/strukturni-pidrozdili/486/2736/132692>

11. Станції та споруди. Офіційний сайт КП "Харківський метрополітен".
URL: <http://www.metro.kharkov.ua/>
12. Дозиметр-радіометр МКС-05 "ТЕРРА-П" : настанова щодо експлуатування ВІСТ.412129.012 КЕ. Львів : НВП "Спарринг-Віст Центр", 2021. 50 с. URL: <https://masterprokat.com/wp-content/uploads/2018/11/Terra-P-Kerivnitstvo-shhodo-ekspluatuvannya.pdf>
13. Коваленко Г. Д., Волошин В. С. Основи радіоекології : навч. посіб. Маріуполь : ПДТУ, 2002. 314 с. URL: https://www.researchgate.net/publication/344952865_Osnovi_radioekologii_Navc_posibnik
14. Карта Радіаційного моніторингу в Україні.
URL: <https://www.saveecobot.com/radiation-maps>
15. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation : IAEA Safety Standards Series No. SSG-32. Vienna : IAEA, 2015. 110 p. URL: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1651Web-62473672.pdf>
16. Sources and Effects of Ionizing Radiation : UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Vol. I. New York : United Nations, 2010. 482 p. URL: https://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/unscear-reports/UNSCEAR_2008_Report_Vol.I-CORR.pdf