

Міністерство охорони здоров'я України
Запорізький державний медичний університет

II медичний факультет
УДК 613.16:614.876:551.521:614.78/.79(477.64)

МАРТИНИЧЕВА ЄЛИЗАВЕТА ВІТАЛІЇВНА
Група 1 тмдл

РАДІАЦІЙНО-ГІГІЄНИЧНА ОЦІНКА ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ
ЗАПОРІЗЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА РАХУНОК ПРИРОДНИХ ДЖЕРЕЛ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА
зі спеціальності
224 «Технології медичної діагностики та лікування»
Галузь знань: 22 «Охорона здоров'я»
Освітня програма «Лабораторна діагностика»

Науковий керівник:
доцент кафедри
загальної гігієни, медичної екології
та профілактичної медицини,
кандидат медичних наук
Куцак Алла Валеріївна

Запоріжжя 2023 р.

Міністерство охорони здоров'я України
Запорізький державний медичний університет
Факультет: II медичний
Кафедра загальної гігієни, медичної екології та профілактичної медицини
Галузь знань 22 «Охорона здоров'я»
Спеціальність 224 «Технології медичної діагностики та лікування»
Освітня програма «Лабораторна діагностика»
Освітня програма вищої освіти України Другий магістерський рівень
Кваліфікація освіти, що присвоюється Магістр

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

РАДІАЦІЙНО-ГІГІЄНІЧНА ОЦІНКА ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ
ЗАПОРІЗЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА РАХУНОК ПРИРОДНИХ ДЖЕРЕЛ

СТУДЕНТКА: Мартиничева Єлизавета Віталіївна

Група 1 тмдл

КЕРІВНИК РОБОТИ:

к.мед.н., доцент кафедри загальної гігієни, медичної екології та профілактичної
медицини

Куцак Алла Валеріївна _____

РЕЦЕНЗЕНТ:

к. мед. н., доцент кафедри загальної гігієни, медичної екології та профілактичної
медицини

Шаравара Лариса Павлівна _____

Робота розглянута на засіданні кафедри загальної гігієни, медичної екології та
профілактичної медицини (протокол від « 17 » січня 2023 р. № 5) і допущена до
захисту

ЗАВІДУВАЧ КАФЕДРИ: к.мед.н., доцент, зав. кафедри загальної гігієни,
медичної екології та профілактичної медицини ЗДМУ

Севальнев Анатолій Іванович _____

Запоріжжя 2023 р.

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 86 с., 1 мал., 51 табл., 34 джерела.

Актуальність роботи: опромінення населення за рахунок природних джерел випромінювання в світі посідає перше місце серед джерел іонізуючого випромінювання і вносить основний за величиною вклад в загальне опромінення людей. Тому визначення пріоритетних задач щодо зменшення опромінення населення за рахунок природних джерел, в теперішній час є вкрай необхідним.

Мета роботи – оцінити рівні опромінення населення Запорізької області за рахунок природних джерел та запропонувати заходи щодо зменшення опромінення населення від природних джерел випромінювання.

Задачі дослідження:

1. Провести аналіз потужності поглиненої у повітрі дози гамма-випромінювання на відкритій місцевості та у приміщеннях з метою оцінки рівнів опромінення населення.
2. Дослідити питому активність природних радіонуклідів у будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині.
3. Оцінити питому активність радіонуклідів у ґрунті.
4. Проаналізувати вміст природних радіонуклідів та значення питомої активності в харчових продуктах.
5. Дослідити питому активність радіонуклідів у питній воді з підземних та поверхневих джерел водопостачання.
6. Проаналізувати значення вимірювань середньорічної еквівалентної рівноважної об'ємної активності (ЕРОА) радону-222 в житлових та громадських будівлях.
7. Запропонувати заходи щодо зменшення опромінення населення від природних джерел випромінювання.

Методи досліджень: дозиметричні, радіохімічні, спектрометричні, аналітичні, розрахункові.

Отримані результати та їх новизна: вперше проведено комплексну оцінку показників радіаційного стану на території Запорізької області за рахунок природних джерел випромінювання (2019-2021 рр.); запропоновано заходи щодо зменшення опромінення населення від природних джерел випромінювання.

Результати досліджень можуть бути застосовані: у курсі лекцій та практичних занять зі студентами, при впровадженні сучасних технологій соціально-гігієнічного моніторингу для оцінки стану здоров'я населення.

Практична значимість роботи: одержані результати дослідження дозволили комплексно оцінити рівні опромінення населення Запорізької області від природних джерел та запропонувати заходи щодо зменшення опромінення населення від природних джерел випромінювання.

Перелік ключових слів: *природна радіоактивність, опромінення населення за рахунок природних джерел випромінювання, радіаційна безпека населення.*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ		7 стор.
ВСТУП		8 стор.
РОЗДІЛ 1.	СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ	12 стор.
1.1.	Джерела опромінення людини і обумовлені ними дози	16 стор.
1.1.1.	Формування природного радіаційного фону	16 стор.
1.2.	Вплив радіації на організм людини	27 стор.
Висновки до розділу 1		30 стор.
РОЗДІЛ 2.	ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	31 стор.
2.1.	Об'єкти та об'єм досліджень	31 стор.
2.2.	Методи вимірювання	35 стор.
2.2.1.	Контроль рівнів зовнішнього гамма-випромінювання	35 стор.
2.2.2.	Дослідження природних радіонуклідів у пробах будівельних матеріалів	36 стор.
2.2.3.	Дослідження радіонуклідів у харчових продуктах	36 стор.
2.2.4.	Дослідження питомої активності природних радіонуклідів у пробах питної води з підземних та поверхневих джерел водопостачання	37 стор.
2.2.5.	Дослідження середньорічної еквівалентної рівноважної об'ємної активності (ЕРОА) радону-222 в житлових та громадських будівлях	38 стор.
РОЗДІЛ 3.	РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	40 стор.
3.1.	Дослідження потужності поглиненої у повітрі дози гамма-випромінювання на відкритій місцевості та у приміщеннях з метою оцінки рівнів опромінення населення	40 стор.
3.1.1.	Аналіз результатів вимірювань потужності поглиненої у повітрі дози гамма-випромінювання на відкритій місцевості	40 стор.
3.1.2.	Аналіз результатів вимірювань потужності поглиненої у повітрі дози гамма-випромінювання у приміщеннях	44 стор.
3.1.3.	Оцінка рівнів опромінення населення від природних джерел випромінювання	46 стор.
3.2.	Дослідження питомої активності природних радіонуклідів у будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині	48 стор.
3.3.	Дослідження питомої активності радіонуклідів у ґрунті	55 стор.
3.4.	Дослідження питомої активності радіонуклідів в харчових продуктах.	59 стор.
3.5.	Дослідження питомої активності радіонуклідів у питній воді з підземних та поверхневих джерел водопостачання	65 стор.
3.5.1.	Аналіз результатів вимірювань активності радіонуклідів у питній воді з підземних джерел водопостачання	65 стор.

3.5.2.	Аналіз результатів вимірювань активності радіонуклідів у питній воді з поверхневих джерел водопостачання	69 стор.
3.6.	Дослідження середньорічної еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону-222 в житлових та громадських будівлях	70 стор.
Висновки до розділу 3		73 стор.
ЗАХОДИ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ ВІД ПРИРОДНИХ ДЖЕРЕЛ ВИПРОМІНЮВАННЯ		75 стор.
ВИСНОВКИ		78 стор.
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ		80 стор.
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ		81 стор.
ПЕРЕЛІК ВЛАСНИХ ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ		86 стор.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЕС	– атомна електростанція
Бк кг	– Беккерель на кілограм
ВООЗ	– Всесвітня організація охорони здоров'я
ДР	– допустимі рівні
ЕРОА	– еквівалентна рівноважна об'ємна активність
МАГАТЕ	– Міжнародне агенство з атомної енергії
мкГр год	– мікрогрей на годину
мкР/год	– мікрорентген на годину
МКРЗ	– Міжнародна Комісія з радіологічного захисту
мР	– мілірентген
НКДАР ООН	– Науковий Комітет з дії атомної радіації Організації Об'єднаних Націй
НРБУ-97	– Норми радіаційної безпеки України
ПРН	– природні радіонукліди
Σ α -активність	– сумарна альфа-активність
Σ β -активність	– сумарна бета-активність

ВСТУП

Актуальність дослідження

Останніми роками в центрі постійної уваги населення і наукової громадськості знаходиться проблема радіації та її впливу на організм людини. В значній мірі це пов'язано з найважчою в історії атомної промисловості та енергетики аварією на Чорнобильській АЕС, внаслідок якої виникло стійке довготривале радіоактивне забруднення радіонуклідами цезію, стронцію і плутонію територій, повітря, природних вод, рослинного і тваринного світу. В той же час, не заперечуючи впливу аварійних викидів на радіоактивність навколишнього середовища слід зазначити, що в наш час основним чинником опромінення населення є не Чорнобильська аварія, а природна радіоактивність, яка супроводжує людину на протязі всього життя.

Реальне усвідомлення науковою громадськістю необхідності найпильнішого аналізу рівнів природного опромінення населення прийшло лише з введенням у практику радіаційного захисту поняття ефективної дози як міри оцінки несприятливих наслідків опромінення. Введення цього фундаментального поняття сучасної радіаційної гігієни в кінці минулого століття призвело до того, що всі види випромінювання стали розглядатися за своїм впливом в єдиному контексті, незалежно від їх поВ ходження. Це викликало різке зростання інтересу до досліджень природної радіоактивності об'єктів довкілля і середовища життєдіяльності людей, розВ гортання масштабних національних програм з вивчення рівнів природного опромінення населення в різних країнах. Практично одночасно з виходом Публікації 39 МКРЗ (1984 р.) в різних країнах стали вводитися національні нормативи з обмеження опромінення населення за рахунок окремих природних джерел випромінювання. В Україні в 1987 році фахівці НДІ загальної і комунальної гігієни ім. О.М. Марзєєва підготували методичні рекомендації, основним результатом використання яких у практиці було виявлення в Україні кар'єрів з видобутку щебеню з підвищеним вмістом природних радіонуклідів і призупинення їх використання для будівництва

житлових та громадських будівель (Орліковського Полтавської області, Токівського, Постепнянського, Мар'їнського, Усть-Кам'янського Дніпропетровської області і Березівського Житомирської області). За відсутності нормативів вмісту радону в повітрі приміщень, в Україні у 1989 році було розпочато роботи щодо створення вимірювальної бази (включаючи еталон радонової атмосфери). Паралельно були проведені перші декілька сотень вимірювань. У 1990 році у відповідності з рекомендаціями Всесоюзного наукового центру радіаційної медицини АМН в Україні був встановлений жорсткий рівень контролю (в термінах НРБУ-97 – рівень дій) радону – $100 \text{ Бк} \cdot \text{м}^3$. Практично це перший гігієнічний норматив радону на території України, встановлений на основі результатів власних вимірювань. В 1991 році в Україні видаються республіканські будівельні норми (РБН-365-91), які встановили допустимі рівні радіаційних параметрів в будівництві і визначили порядок проведення їх контролю. В подальшому Україна самостійно вела нормування радіаційних параметрів в цій сфері, найбільш вагомий національний документ – НРБУ-97. За даними звіту Наукового Комітету з дії атомної радіації Організації Об'єднаних Націй (НКДАР ООН), розрахованими для середніх значень параметрів джерел іонізуючого випромінювання, середньосвітова річна доза опромінення людини від усіх чинників складає $5,2 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$. При цьому природна компонента складає $2,4 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$, а в ній основною складовою є радон-222 – $1,5 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$. В Україні сумарна доза опромінення населення трохи більша і складає $5,9 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$, а внесок природної складової значно вище і досягає $3,5 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$. Частка радону-222 в ній складає $2,4 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$. В зв'язку з цим дуже важливо мати інформацію про основні чинники опромінення населення в окремих регіонах країни для розробки заходів щодо їх зниження. Особливо ця проблема актуальна для Запорізької області, де розташована найбільша в Європі Запорізька АЕС та висока природна радіаційна складова за рахунок виходу скелястих порід урану і торію.

Таким чином, визначення пріоритетних задач щодо зменшення дозового навантаження населення за рахунок природних джерел випромінювання, в нинішній час є вкрай необхідним. Все викладене зумовило актуальність теми, визначило мету та завдання даних досліджень.

Мета роботи – оцінити рівні опромінення населення Запорізької області за рахунок природних джерел та запропонувати заходи щодо зменшення опромінення населення від природних джерел випромінювання.

Задачі дослідження:

1. Провести аналіз потужності поглиненої у повітрі дози гамма-випромінювання на відкритій місцевості та у приміщеннях з метою оцінки рівнів опромінення населення.

2. Дослідити питому активність природних радіонуклідів у будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині.

3. Оцінити питому активність радіонуклідів у ґрунті.

4. Проаналізувати вміст природних радіонуклідів та значення питомої активності в харчових продуктах.

5. Дослідити питому активність радіонуклідів у питній воді з підземних та поверхневих джерел водопостачання.

6. Проаналізувати значення вимірювань середньорічної еквівалентної рівноважної об'ємної активності (ЕРОА) радону-222 в житлових та громадських будівлях.

7. Запропонувати заходи щодо зменшення опромінення населення від природних джерел випромінювання.

Об'єкт дослідження: рівні опромінення населення від природних джерел іонізуючого випромінювання.

Предмет дослідження: радіаційно-гігієнічні показники стану повітря приміщень, ґрунту, питної води, води з підземних джерел водопостачання, продуктів харчування.

Методи досліджень: дозиметричні, радіохімічні, спектрометричні, аналітичні, розрахункові.

Елементи наукової новизни:

- вперше проведено комплексну оцінку показників радіаційного стану на території Запорізької області за рахунок природних джерел випромінювання (2019-2021 рр.).

- запропоновано заходи щодо зменшення опромінення населення від природних джерел випромінювання.

Практичне значення: Одержані результати дослідження дозволили комплексно оцінити рівні опромінення населення Запорізької області від природних джерел та запропонувати заходи щодо зменшення опромінення населення від природних джерел випромінювання.

Матеріали роботи можуть бути використані: у курсі лекцій та практичних занять зі студентами, при впровадженні сучасних технологій соціально-гігієнічного моніторингу для оцінки стану здоров'я населення.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

Останніми роками в центрі постійної уваги населення і наукової громадськості знаходиться проблема радіації і її впливу на організм людини. В значній мірі це пов'язано з найважчою в історії атомної промисловості та енергетики аварією на Чорнобильській АЕС, в наслідок якої виникло стійке довготривале радіоактивне забруднення радіонуклідами цезію, стронцію і плутонію територій, повітря, природних вод, рослинного і тваринного світу. В Україні радіоактивному забрудненню з щільністю випадінь більше $37 \text{ кБк} \cdot \text{км}^{-2}$ піддалося понад 53,4 тис. км^2 земель (близько 4,8% території країни), в тому числі, біля 4,6 млн. га сільськогосподарських угідь та 25,3 тис. км^2 лісів (до 40% від їх загальної площі). Забруднення охопило 12 областей (73 райони) України. До радіоактивно забруднених територій національним законодавством віднесено 2293 населених пунктів [1, 2, 3].

Аварія призвела до великих фінансових втрат і викликала значні медичні, екологічні і соціально-економічні наслідки: 237 чоловік, «ліквідаторів» аварії, захворіло гострою променевою хворобою, з них 29 померло. Більше 100 тис. людей було евакуйовано з 30-ти кілометрової зони АЕС.

Знов загострилось занепокоєння населення країни станом радіаційної безпеки після аварії на АЕС «Фукусіма» в Японії в березні 2011 року.

В той же час, не заперечуючи вплив аварійних викидів на радіоактивність навколишнього середовища слід зазначити, що в наш час основним чинником опромінення населення є не Чорнобильська аварія, а природна радіоактивність, яка супроводжує людину на протязі всього життя.

Реальне усвідомлення науковою громадськістю необхідності найпильнішого аналізу рівнів природного опромінення населення прийшло лише з введенням у практику радіаційного захисту поняття ефективної дози як міри оцінки несприятливих наслідків опромінення. Введення цього фундаментального поняття сучасної радіаційної гігієни в кінці минулого століття призвело до того,

що всі види випромінювання стали розглядатися за своїм впливом в єдиному контексті, незалежно від їх походження. Це викликало різке зростання інтересу до досліджень природної радіоактивності об'єктів довкілля і середовища життєдіяльності людей, розгортання масштабних національних програм з вивчення рівнів природного опромінення населення в різних країнах. Практично одночасно з виходом Публікації 39 МКРЗ [4] в різних країнах стали вводитися національні нормативи з обмеження опромінення населення за рахунок окремих природних джерел випромінювання.

В Україні в 1987 році фахівці НДІ загальної і комунальної гігієни ім. О.М. Марзєєва підготували методичні рекомендації, основним результатом використання яких в практиці було виявлення в Україні кар'єрів з видобутку щебеню з підвищеним вмістом природних радіонуклідів і призупинення їх використання для будівництва житлових та громадських будівель (Орліковського Полтавської області, Токівського, Постепнянського, Мар'їнського, Усть-Кам'янського Дніпропетровської області і Березівського Житомирської області).

В Україні у 1989 році було розпочато роботи щодо створення вимірювальної бази (включаючи еталон радонової атмосфери). Паралельно були проведені перші декілька сотень вимірів. У 1990 році у відповідності з рекомендаціями ВНЦРМ АМН СРСР в Україні був встановлений жорсткий рівень контролю (в термінах НРБУ-97 – рівень дій) радону – $100 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$. Практично це перший гігієнічний норматив радону на території України, що був встановлений на основі результатів власних вимірювань.

В 1991 році в Україні видаються республіканські будівельні норми (РБН-365-91), які встановили допустимі рівні радіаційних параметрів в будівництві і визначили порядок проведення їх контролю. В подальшому Україна самостійно вела нормування радіаційних параметрів в цій сфері. Найбільш вагомий національний документ – це НРБУ-97 [5], де принципи, покладені в основу їх обґрунтування, повністю відповідають міжнародним рекомендаціям. При цьому первинне нормативно-правове забезпечення радіаційного захисту населення від впливу природних джерел випромінювання фактично будувалося за

аналогією з нормуванням техногенного опромінення населення. У міру накопичення інформації про реальні рівні опромінення населення поступово прийшло розуміння, що система нормування щодо обмеження природного опромінення населення повинна розроблятися з врахуванням реальних характеристик радіаційного стану і можливостей, у тому числі і економічних. Так, при розробці і обґрунтуванні нормативів вмісту природних радіонуклідів у будівельній сировині й матеріалах враховувалася не лише необхідність зниження рівнів опромінення населення в будинках до мінімально можливого рівня, але і реальні радіологічні характеристики родовищ будівельної сировини і матеріалів.

До кінця минулого століття в системі нормування природного опромінення населення в країні накопичилися серйозні недоліки і принципові протиріччя, в практиці нагляду за радіаційним захистом населення відчувався явний недолік цілого ряду нормативів, серйозного перегляду вимагали ряд практично нездійснених гігієнічних вимог. Поступово стали загострюватися специфічні проблеми забезпечення радіаційного захисту населення, які раніше не помічалися або не мали настільки гострого прояву. Інтенсивний розвиток індустрії будівельних матеріалів, вогнетривкої промисловості, металургії і ряду інших галузей був неможливим без залучення до виробництва великих мас мінеральних компонентів з високим вмістом природних радіонуклідів, що вимагало обґрунтування заходів щодо забезпечення радіаційного захисту населення при поводженні з цими матеріалами. Стали активно упроваджуватися нові технології в промисловості, у тому числі, будівельної, добувної, переробної та інших галузей, які породжували нові проблеми в забезпеченні радіаційного захисту населення.

Поступово стало очевидним, що вихід з ситуації, що склалася, без кардинальних змін у підходах до забезпечення радіаційного захисту населення неможливий, а їх наукове обґрунтування має базуватися на інформації про реальні рівні і структуру доз опромінення населення за рахунок природних джерел випромінювання. Тому, в першу чергу, необхідно було налагодити систему збору, аналізу і узагальнення даних про структуру доз і рівні опромінення

населення країни за рахунок усіх природних джерел іонізуючого випромінювання і провести їх гігієнічну оцінку. Не менш важливим був всесторонній аналіз системи чинних нормативних та інструктивно-методичних документів, виявлення її основних недоліків і протиріч. Враховуючи це і міжнародний досвід нормування, необхідно було розробити дієву систему гігієнічних вимог з обмеження опромінення населення за рахунок природних джерел випромінювання у виробничих і комунальних умовах.

Враховуючи, що об'єктивне уявлення про дози і структуру опромінення населення за рахунок природних джерел випромінювання в комунальних і виробничих умовах не може бути сформоване за даними розрізнених і системно не зв'язаних досліджень, які виконуються для різних цілей в різних регіонах країни, була розроблена і впроваджена єдина система отримання, аналізу і обробки даних про всі природні джерела випромінювання і компоненти доз природного опромінення населення. Аналіз і узагальнення отримуваної інформації стало основою для вдосконалення системи нормативно-правового регулювання обмеження опромінення населення, а також для вирішення практичних питань щодо зниження доз опромінення населення країни [6].

Природні джерела іонізуючого випромінювання мають велике значення, оскільки вносять найбільший вклад в колективну дозу опромінення населення планети. За даними звіту НКДАР ООН, розраховані для середніх значень параметрів джерел іонізуючого випромінювання, річна ефективна доза опромінення населення, яке проживає в районах з помірним кліматом, від природних джерел складає 2,4 мЗв (більше як 60 % складає радон), від медичного опромінення – 0,4 мЗв.

У світі є країни, де в окремих регіонах рівень гамма-фону перевищує $3 \text{ мкГр} \cdot \text{год}^{-1}$ і навіть більше (Чехія, Бразилія, Індія та інші). Ще більша варіабельність характерна для доз від радону і продуктів його розпаду. У США кількість людей, які отримують за рахунок цього джерела дози вище 20 мЗв на рік, складає 1 млн. осіб. Дози опромінення для населення Росії вищі за середні значення, які за оцінками НКДАР ООН характерні для країн з помірним кліматом.

За даними НКДАР, вітчизняних та зарубіжних науковців у сумарній дозі опромінення населення основну роль грає природна компонента (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

**Джерела іонізуючого випромінювання та ефективні
дозы опромінення, що їх обумовлюють (мЗв·рік⁻¹)**

Джерела опромінення	НКДАР	США	Україна
Природні джерела:	2,4	3,1	3,5
– зовнішнє опромінення	0,9	0,5	1,1
– внутрішнє опромінення (в т. ч. радон)	1,5	2,6	2,4
Техногенно-підсилений природний фон	1,8	1,9	1,6
Медичне опромінення	0,4	3,0	0,5
Професійне опромінення	0,6	-	0,3
Всього	5,2	6,2	5,9

Середньозважена сумарна ефективна доза опромінення населення України, обумовлена природними джерелами, складає 3,5 мЗв·рік⁻¹. Вклад керованої компоненти в сумарну дозу оцінюється в 2,8 мЗв·рік⁻¹, причому істотна доля цієї дози формується за рахунок радону-222 в повітрі приміщень – 2,4 мЗв·рік⁻¹ (72%) [7]. На другому місці знаходиться техногенно-підсилений природний фон, потім медичне опромінення, а далі все інше.

1.1. Джерела опромінення людини і обумовлені ними дози

1.1.1. Формування природного радіаційного фону

Безумовно, найбільша доля опромінення населення приходить на природний радіаційний фон, який складається з двох компонентів: космічного опромінення і опромінення від розсіяних в земній корі, ґрунті, повітрі, воді та інших об'єктах зовнішнього середовища природних радіонуклідів. Крім цих двох компонентів, виділяють так званий техногенно-підсилений природний радіаційний фон [8, 9, 10, 11]. Дози, які отримує населення від природних джерел іонізуючого випромінювання, складаються з доз зовнішнього і внутрішнього

опромінення на відкритій місцевості (поза приміщеннями) та усередині приміщень. Вважається, що нормальний гамма-фон Землі складає $5-15 \text{ мкР} \cdot \text{год}^{-1}$, а річна доза опромінення населення земної кулі – $0,3-0,4 \text{ мЗв}$. В середньому земне випромінювання природного походження створює дозу опромінювання $1,73 \text{ мЗв}$ на рік.

Зовнішнє опромінення

Радіаційний фон, що створюється космічними променями, дає дещо менше половини зовнішнього опромінення, що отримує населення від природних джерел радіації. Космічні промені в основному приходять до нас з глибин Всесвіту, але деяка їх частина народжується на Сонці під час сонячних спалахів. Інтенсивність космічного випромінювання зростає з географічною широтою і висотою місцевості. Так, на висоті 6100 м вона в $10-20$ разів вище, ніж на рівні моря. Космічні промені затримуються шаром озону в стратосфері на висоті $21-29 \text{ км}$. І в разі його руйнування зростає радіаційний фон на Землі. Значну частину природної радіації створюють ізотопи родини урану, торію, продуктів їхнього розпаду і калію-40, які містяться в ґрунті, гірських породах. Їхня концентрація залежить від типу гірської породи. Найбільш радіоактивні – магматичні породи (граніти), менше – осадові породи (піщаники, вапняки).

Радіоактивність будівельних матеріалів

Природні радіонукліди в будівельних матеріалах створюють дозу зовнішнього і внутрішнього опромінення людей. При цьому доза зовнішнього опромінення істотно залежить від концентрації гамма-випромінювачів, що входять до сімейств радію-226 (^{226}Ra), торію-232 (^{232}Th), а також калію-40 (^{40}K), присутніх в будівельних матеріалах і конструкціях житлових та громадських будівель [6]. Внутрішнє опромінення людини обумовлене перш за все вмістом ^{226}Ra в огорожуваних конструкціях житлових приміщень (стіни, підлога, стеля), що є джерелом радіоактивного газу ^{222}Rn і його короткоіснуючих продуктів розпаду.

Найменшу питому активність має деревина (нижче $1 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$). Високу питому активність мають граніти, туфи, пемза ($200-400 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$), алюмосилікатна

цегла, доменний шлак, зольний пил. Активність бетону залежно від вихідних компонентів (піску і цементу), як правило, в 30-50 разів більша, ніж активність деревини. У зв'язку з цим рівні гамма-фону в дерев'яних, цегляних та панельних спорудах не однакові і становлять 0,10 – 0,12; 0,13 – 0,25; 0,12 – 0,35 мкГр·год⁻¹ відповідно. За результатами вимірювань проб мінеральної будівельної сировини встановлено, що вміст природних радіонуклідів у сировині 12 % кар'єрів України перевищує рівень 370 Бк·кг⁻¹ (нормативну величину), що не дає можливості використання її в житловому будівництві. Визначено, що середньозважена за структурою житлового фонду ефективна доза опромінення населення від природних радіонуклідів у будівельних матеріалах становить 0,23 мЗв·рік⁻¹, а максимальні значення доз опромінення досягають 1 мЗв·рік⁻¹.

У табл. 1.1.1.1 приведені результати досліджень вмісту природних радіонуклідів у будівельних матеріалах України.

Таблиця 1.1.1.1

Вміст природних радіонуклідів у будівельних матеріалах України

Вид матеріалу	Питома активність (Бк кг ⁻¹)			Ефективна питома активність (Бк кг ⁻¹)
	Радій-226	Торій-232	Калій-40	
Щебінь	36,6	79,3	971	223
Гранітний відсів	43,0	118,2	1171	297,3
Гравій керамзитовий	37,0	28,0	658	130
Бетон	25,0	36,0	380	106
Вапно	58,0	44,0	139	127
Цегла	44,0	51,0	704	171
Глина	41,0	78,0	574	204
Пісок	12,0	33,0	165	68
Кахель керамічний	89,0	102	680	280
В середньому	49,0	53,0	496	162

В той же час, слід зазначити, що ряд регіонів України мають великі родовища нерудних матеріалів, розташованих в зоні Українського кристалічного щита, які містять високий вміст природних радіонуклідів, що вимагає постійного радіаційного контролю.

Радон у ґрунті

Вміст радону в земній корі складає $4 \cdot 10^{-13}$ мг·кг⁻¹ і, завдяки пористості ґрунту, радон може мігрувати в атмосферу. Практично радон є основним радіоактивним джерелом, що формує природну радіоактивність нижніх шарів атмосфери. Радон-222 являється продуктом розпаду радію (основного формуючого елементу природного геоутворення – Український кристалічний масив, що залягає на більшій частині території України) і емануючи з мінеральних зерен ґрунту в повітря або воду обумовлює підвищений рівень природної радіоактивності цих територій. Цим і пояснюється велика складова дози опромінення населення за рахунок природної компоненти.

Залежно від характеру накопичення радіоактивних елементів в ґрунтах розрізняють природну і штучну радіоактивність. Первинні природні радіоактивні елементи – елементи, що надійшли в ґрунт з ґрунтоутворюючих порід і формуються за рахунок радіоактивних ізотопів, таких як уран та дочірні продукти розпаду – радій, актиній, торій, свинець, радон. До групи «звичайних» елементів, які здатні до радіоактивного розпаду належать ⁴⁰K, ⁸⁷Rb, ⁴⁸Ca, ⁹⁶Zr та ін.). Найбільшу природну радіоактивність серед має калій.

Радіоактивність ґрунтів залежить насамперед від активності гірських порід, а також інтенсивності процесів обміну радіонуклідів між ґрунтами і ґрунтовими водами, вмісту в ґрунтах води, органічних речовин та інших чинників. Ґрунтовий покрив області представлений такими зональними ґрунтами, як чорноземи звичайні малогумусні малопотужні, чорноземи південні, темно-каштанові та каштанові, солонці, солонцюваті ґрунти, солончаки.

Штучна радіоактивність ґрунтів зумовлена забрудненням їх радіоактивними ізотопами в результаті виробничої діяльності людини або внаслідок радіаційної аварії з викидом радіоактивності в повітря. У результаті аварії на Чорнобильській АЕС, у ґрунти навколишніх територій потрапили різні радіоактивні елементи. Особливо небезпечними є елементи з тривалим періодом напіврозпаду – ¹³⁷Cs ($T_{1/2} = 33$ роки) і ⁹⁰Sr ($T_{1/2} = 28$ років). Вони мають високу енергію випромінювання і здатні активно включатися у біологічний кругообіг. Загальним

для ^{90}Sr і ^{137}Cs є досить повне їхнє поглинання твердою фазою ґрунту, тому основна їхня кількість (80-90%), закріплюється у верхньому родючому шарі ґрунту на рівні 5-9 см, отже під значне забруднення потрапили багато земель сільськогосподарського призначення.

Внутрішнє опромінення

У 50-х роках минулого століття внаслідок випробувань ядерної зброї виникла проблема контролю радіоактивності випадінь продуктів ядерних вибухів. У зв'язку з цим розпочалися повномасштабні дослідження радіоактивності об'єктів навколишнього середовища, ґрунту, води і продуктів харчування.

З великого числа радіонуклідів, що входять до складу випадінь, найбільшу вагу як джерело опромінення населення мають ^{90}Sr і ^{137}Cs . Тому, у вітчизняних і зарубіжних дослідженнях основна увага була приділена саме цим нуклідам. Найбільш узагальнений матеріал з цього приводу представлений в монографії під редакцією А. М. Марєя, де наведені результати дослідження радіоактивності продуктів харчування і води з 1963 по 1973 роки, а також розрахунки дози опромінення населення від харчового раціону.

Встановлено, що вміст ^{90}Sr і ^{137}Cs в основних продуктах харчування, які складають харчовий раціон, за 10 років знизився в 1,5 – 10 разів. Наприклад, ^{90}Sr : у житньому хлібі знизився – з $130 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ до $14 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$; у м'ясі яловичини – з $24 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ до $5,0 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$; у молоці – з $30 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$ до $14 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$; ^{137}Cs : у житньому хлібі знизився – з $390 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ до $24 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$; у м'ясі яловичини – з $290 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ до $28 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$; у молоці – з $210 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$ до $18 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$ [12, 13].

У подальшому, органами державного санітарного нагляду продовжувався моніторинг радіоактивності продуктів харчування. В той же час фахівці стверджують [9], що на сьогодні після аварії на Чорнобильській АЕС основним фактором дозоутворення Чорнобильської складової є внутрішнє опромінення населення, що формується за рахунок надходження радіонуклідів в організм людини по біологічному ланцюгу: ґрунт – рослина – тварина – продукти харчування – людина. У зв'язку з цим, моніторинг радіоактивності продуктів харчування залишається актуальним [14, 15].

Радон у воді

Залежно від геологічних і гідрогеологічних умов у різних районах Землі створюються умови для формування широкого спектру фонових концентрацій радону. Разом з районами із зниженими фоновими концентраціями радону у водах є території з дуже високим, «ураганим» вмістом радону. Такі території виявлені в Бразилії, Індії, Канаді. Відомі джерела з високими концентраціями радону в Ірані. Підвищеними фоновими концентраціями радону характеризуються скандинавські країни.

У США у 1992 р. прийнятий норматив, згідно якого питома активність радону у водопровідній воді повинна бути не вище $0,1 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$. Розрахунки свідчать, що за таких умов вклад цього джерела в повну концентрацію радону в повітрі будівлі не буде перевищувати $10 \text{ Бк}\cdot\text{м}^3$. Насправді, щонайменше 10 % людей в США та інших країнах світу п'ють воду з активністю радону більше $100 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$. Експерти Міжнародної комісії з радіаційного захисту (МКРЗ) вважають, що з води в повітря будівель надходить до 20% радону. За оцінками НКДАР ООН менш як 1% населення Землі споживає воду з питомою активністю понад $1 \text{ мільйон Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ і менш як 10% – п'ють воду з концентрацією радону, що перевищує $100\,000 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$.

В Україні середньозважена величина концентрації радону в підземних водах для регіонів, розташованих в зоні Українського кристалічного щита дорівнює $261 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$, для районів, що розташовані поза цим масивом – $37 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$ [16, 17, 18, 19, 20]. За результатами вимірювань проб питної води встановлено, що вміст ^{226}Ra та ізотопів урану в артезіанських свердловинах на Українському кристалічному щиті становить $0,37 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ та $2,43 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$, поза його межами – $0,09 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ та $0,27 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$, відповідно. Визначено, що середньозважені ефективні дози опромінення населення України, обумовлені споживанням питної води з артезіанських свердловин, для ^{226}Ra становлять $0,03 \text{ мЗв}\cdot\text{рік}^{-1}$, для урану – $0,02 \text{ мЗв}\cdot\text{рік}^{-1}$, для ^{222}Rn – $0,07 \text{ мЗв}\cdot\text{рік}^{-1}$. В цілому в Україні середньозважена ефективна доза опромінення від природних радіонуклідів у питній воді з артезіанських свердловин становить близько $0,12 \text{ мЗв}\cdot\text{рік}^{-1}$ [7].

Радон в житлових приміщеннях

Однією з актуальних загальносвітових проблем протирадіаційного захисту населення є опромінення радоном і продуктами його розпаду у будинках [7, 8, 11, 21].

Радон – це інертний газ, який є продуктом розпаду ^{226}Ra , що в свою чергу утворюється в результаті розпаду ^{238}U . Період напіврозпаду радону складає 3,8 днів. Радон не має смаку і запаху, важчий за повітря. Результати досліджень, які проводились у Канаді, Італії, Північних країнах, Австрії, Англії, США довели, що в більшості будинків першою з головних причин підвищеного вмісту радону є висока ексхаляція радону з ґрунту і другою – будівельні матеріали з підвищеним вмістом радію-226, з яких побудовані будинки.

Об'ємна активність радону в помешканнях для різних країн розрізняється через відмінності в геології, кліматі, будівельних матеріалах, технології будівництва, а також побутових традиціях. Крім того мають значення конструктивні особливості будівель – вид будматеріалу, наявність вентиляції, швидкість повітрообміну, поверховість, оздоблювання приміщень. Встановлено, що на перших поверхах будівель в приміщеннях без наявності вентиляції концентрація радону у декілька разів більша, ніж на верхніх поверхах.

Всередині приміщень продукти розпаду радону накопичуються за рахунок виділення радону з ґрунту під будівлями, будівельних матеріалів, артезіанської води і природного газу, що використовується населенням. Ці обставини, разом з довготривалим перебуванням людей у будинках, роблять продукти розпаду радону в повітрі приміщень головним компонентом фонового опромінення населення, яке за оцінками НКДАР ООН біля 80% часу проводить всередині житлових і виробничих приміщень.

За даними звіту НКДАР ООН високі рівні зовнішнього опромінення в будинках ($95 - 115 \text{ нГр}\cdot\text{рік}^{-1}$) виявлено в Угорщині, Китаї, Албанії, Португалії, Австрії, Швеції, Іспанії, Ірані. Низькі рівні ($< 40 \text{ нГр}\cdot\text{рік}^{-1}$) виявлено в Новій Зеландії, Ісландії, США.

За даними Кормановської Т. А. рівні вмісту радону в житлових і громадських приміщеннях Російської Федерації складають 8 – 160 Бк·м⁻³ при середньоросійських значеннях 30 Бк·м⁻³. Середня в Російській Федерації річна доза опромінення населення природними джерелами знаходилася в діапазоні 3,63 – 4,29 мЗв на рік.

В останні роки радонова проблема набуває ще більшого значення. Так, в 2010 році вийшла у світ нова «радонова» публікація Міжнародної комісії з радіаційного захисту (МКРЗ) [22], яка збільшила в 1,8 разів радіаційні ризики для населення для ситуації опромінення радоном.

Крім того, в 2011 році вперше в практиці протирадіаційного захисту в Міжнародні стандарти радіаційної безпеки (BSS) МАГАТЕ було впроваджено вимоги до обмеження опромінення радоном.

Сьогодні готуються проекти ще двох документів з цього питання, які мають вийти у найближчий час. По-перше, це документ серії «Стандартів безпеки» МАГАТЕ: «Захист населення від опромінення природними джерелами у будинках» (Protection of the Public against Exposure Indoors due to Natural Sources of Radiation) та нова публікація МКРЗ, яка присвячена дозовим коефіцієнтам для перерахунків внутрішніх доз опромінення професіоналів, яка також містить нову інформацію щодо впливу радону та його дочірніх продуктів розпаду.

Вихід цих публікацій, по суті, започатковує перегляд всієї існуючої нормативної бази щодо радону та додатково впроваджує обов'язковий радіаційний контроль не тільки при здачі будинків в експлуатацію, але і контроль громадських будинків та робочих місць, не пов'язаних з практичною діяльністю.

В Україні дослідження рівнів вмісту радону в повітрі приміщень були початі ще в 1989 році. За минулі роки обстежено більше 32 тисяч будівель різних архітектурно-планувальних рішень. Досліджені закономірності формування рівнів радону в повітрі типових для країни будівель.

В ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О. М. Марзєєва НАМН України» створена методична і метрологічна база вимірів радону. На базі «радонової атмосфери», яка була атестована як робочий еталон, була розроблена і реалізована

на практиці система гарантій якості вимірів радону. Ефективність даної системи була підтверджена процедурами звірення з Шведським агентством радіаційної безпеки (м. Стокгольм) і Національним інститутом радіаційного захисту Японії (м. Чіба) [23, 24].

Паралельно була розроблена нормативна база, яка обмежила вплив цього чинника на здоров'я населення і визначила вимоги до системи контролю цього джерела.

В результаті проведених досліджень було встановлено, що середньозважена за структурою житлового фонду доза опромінення населення України за рахунок радону в повітрі приміщень оцінюється величиною 2,4 мЗв на рік і складає близько 63% від сумарної дози.

Проте, варіабельність середньозважених ефективних доз на рівні окремих регіонів країни досить значна і складає від 2 – 3 разів на рівні окремих областей до порядку на рівні районів.

Середньгеометричне значення еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону-222 та відповідне стандартне відхилення для одноповерхових будинків сільського типу становлять 52 Бк·м⁻³ та 62 Бк·м⁻³; для квартир, які розташовані на першому поверсі багатоповерхових будинків, – 40 Бк·м⁻³ та 48 Бк·м⁻³; вище першого поверху – 23 Бк·м⁻³ та 28 Бк·м⁻³, відповідно. У середньому в країні рівень 100 Бк·м⁻³ (радіаційно-гігієнічний регламент) перевищує в 19% випадків, а 200 Бк·м⁻³ – в 5,7% випадків [7].

Розподіл статистичних параметрів отриманих значень активностей радону свідчить про значну варіабельність його рівнів щодо окремих областей та регіонів.

Середньозважену за структурою житлового фонду ефективну дозу опромінення від радону в повітрі будинків автор оцінює величиною 2,4 мЗв·рік⁻¹, для одноповерхових сільських будинків – 4,1 мЗв·рік⁻¹. Дози 5 % населення країни (≈ 21 тисяча осіб) перевищують величину 10 мЗв·рік⁻¹, 0,5 % (≈ 1200 осіб) – 20 мЗв·рік⁻¹ – ліміт дози персоналу категорії А [7].

У табл. 1.1.1.2 приведені середньорічні ефективні дози для різних регіонів України при 80% часі перебування в приміщеннях.

Таблиця 1.1.1.2

**Середньорічні ефективні дози від радону при 80% часі перебування
в приміщенні для різних регіонів України**

Область	Доза, мЗв	Населення (млн. чол.)	Область	Доза, мЗв	Населення (млн. чол.)
Вінницька	4,8	1,85	Миколаївська	2,2	1,32
Волинська	2,2	1,07	Одеська	4,8	2,55
Дніпропетровська	3,1	3,77	Полтавська	2,2	1,71
Донецька	4,8	5,06	Рівненська	3,1	1,19
Житомирська	2,2	1,46	Сумська	2,2	1,37
Закарпатська	2,2	1,29	Тернопільська	3,1	1,17
Запорізька	5,2	2,04	Харківська	2,2	3,02
Івано-Франківська	2,2	1,46	Херсонська	5,2	1,25
Київська	2,2	4,49	Хмельницька	2,2	1,49
Кіровоградська	4,8	1,2	Черкаська	5,2	1,48
Кримська АР	2,2	2,55	Чернівецька	2,2	0,94
Луганська	2,2	2,71	Чернігівська	3,9	1,32
Львівська	2,2	2,74			

Викликає інтерес дослідження російських авторів про рівні опромінення дітей за рахунок природних джерел випромінювання в дитячих освітніх закладах та вітчизняних, які вимірювали активність радону-222 в дитячих дошкільних та шкільних установах Харківської області. Результати досліджень показали, що в 93% приміщень рівні ЕРОА радону склали до $100 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$, в 6% приміщень зареєстровано $100\text{-}200 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ та 1% – це кількість приміщень з активністю ^{222}Rn понад $250 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$.

У Кіровоградській області середні ефективні дози дітей від радону складають у дитячих навчальних закладах $1,1 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$ (діапазон $0,1\text{--}16,0 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$), у житлі – $4,8 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$ (діапазон $0,8\text{--}43,2 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$). Для м. Києва середні ефективні дози дітей складають у дитячих навчальних закладах $0,3 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$ (діапазон $0,2\text{--}0,7 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$), у житлі – $0,4 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$.

Таким чином, дозове навантаження дітей Кіровоградської області майже у 8 разів перевищує дози опромінення дітей у м. Києві [25, 26, 27].

Техногенно-підсилені джерела природного походження

Природний радіаційний фон формується двома компонентами – космічним випромінюванням і випромінюванням природних радіонуклідів, розсіяних в земній корі, ґрунті, повітрі, воді та інших об'єктах довкілля. Крім того сюди відносять і технологічно змінений радіаційний фон антропогенного походження, який формується в результаті діяльності людини. Причиною підвищення такого фону є, наприклад, будівельні матеріали, викиди теплових електростанцій, використання природного газу в побуті, використання деяких мінеральних добрив та ін. Випробовування ядерної зброї, розвиток ядерної енергетики, пов'язаних з нею нових технологій, а також аварія на ЧАЕС привели до збільшення радіаційного фону.

На території України у формуванні радіаційного стану за рахунок техногенно-підсиленних джерел приймають участь також підприємства нафтової, газової, вугільної промисловості і теплової енергетики. При їх експлуатації відбувається помітний перерозподіл природних радіонуклідів (урану, торію, продуктів їх розпаду і ^{40}K) в природному середовищі [28].

Дослідження вмісту техногенно-підсиленних джерел природного походження (ТПДПП) у відходах підприємств, які видобувають і переробляють корисні копалини в Україні, носять вибірковий характер. Але, якщо проаналізувати їх результати і ситуацію, що склалася, стає зрозумілим, що проблема опромінення населення цими джерелами існує. В Україні відходи з підвищеним вмістом природних радіонуклідів сьогодні не контролюються. Це відноситься не тільки до виробництва фосфатів, але й до переробки залізної руди, золи теплових електростанцій. При цьому концентрації природних радіонуклідів, наприклад, в зоні теплових електростанцій достатньо значні: ^{226}Ra – $6300 \text{ нКи} \cdot \text{кг}^{-1}$, ^{232}Th - $6500 \text{ нКи} \cdot \text{кг}^{-1}$, ^{210}Pb - $12000 \text{ нКи} \cdot \text{кг}^{-1}$.

В результаті довгоіснуючі радіонукліди розповсюджуються в навколишньому середовищі як природним чином (вивітрюванням, вимиванням

дощами та ін.), так і при використанні населенням при індивідуальному будівництві (в якості підсипок під фундамент, у вигляді наповнювачів і т. п.). В той же час в індустріальному будівництві, де використовуються відходи інших підприємств, здійснюється контроль тільки кінцевої продукції [29, 30, 31].

При цьому у світі у зв'язку з активною господарською діяльністю людини в останні роки природний радіаційний фон якісно і кількісно значно змінився. Прикладом цього може служити значне збільшення видобування уранових руд, а також корисних копалин, що містять природні радіонукліди, широке використання мінеральних добрив, збільшення авіаційних перевезень, використання нових будівельних матеріалів, тощо. У зв'язку з цим доза опромінення за рахунок природної компоненти з урахуванням техногенно-підсиленого фону зросла в 2 рази і в даний час оцінюється дозою 2,5 мЗв на рік. За попередніми оцінками, внесок ТПДПП в середньорічну сумарну дозу опромінення населення України складає більше 70%.

Необхідно відзначити, що до теперішнього часу чіткої межі між нормальним і підвищеним рівнями природного радіаційного фону не існує. В той же час за рекомендаціями Міжнародної Комісії з радіаційного захисту, доза від природної радіації не повинна перевищувати 5 мЗв на рік. В даний час допускається збільшення цієї дози до 10 мЗв на рік.

1.2. Вплив радіації на організм людини

Якщо говорити про вплив радіації на організм в цілому, то згідно сучасним уявленням всі шкідливі наслідки опромінювання поділяються на дві групи: детерміновані (безпосередні) ефекти, які виникають під безпосереднім впливом великих доз опромінення і призводять до порушення функції органів і тканин, та стохастичні (вірогідні) ефекти, що виникають при опроміненні порівняно невеликими дозами і викликають злоякісні пухлини у опромінених осіб і спадкові захворювання у їх нащадків [32, 33, 34].

Відомо, що в повсякденному житті люди опромінюються малими дозами, тому розвиток детермінованих ефектів у них маловірогідний, а злоякісні пухлини

та спадкові захворювання можуть бути лише наслідком прояву стохастичних ефектів.

При цьому в області малих доз залежність «доза-ефект» для стохастичних ефектів ґрунтується на загальноновизнаній лінійній безпороговій гіпотезі розвитку стохастичних ефектів випромінювання, яка прийнята МКРЗ. Тому, оцінюючи віддалені негативні наслідки на населення, викликані опроміненням малими дозами, слід враховувати лише стохастичні ефекти.

Малі дози радіації можуть «запускати» ланцюг подій, що призводить до захворювань, наприклад, ракових і генетичних пошкоджень. Визначення малих і великих доз фахівцями до нашого часу трактується по різному. На сьогодні, на думку МКРЗ, умовний кордон між «великими» і «малими» дозами, про які йде мова, пролягає на рівні 100 мЗв.

Пошкодження, які викликаються великими дозами (детерміновані ефекти), виявляються протягом декількох годин або днів після опромінення, причому лише в разі перевищення певного порогу дози, що властиві даному гострому ефекту. Навпаки, ракові захворювання, викликані опроміненням малими дозами, виявляються після багатьох років, а генетичні пошкодження (вади розвитку, спадкові хвороби та інше) взагалі в подальших поколіннях нащадків опроміненого індивідуума.

До теперішнього часу у розпорядженні науки були лише одиничні великі дослідження впливу радіації на людину, зокрема, що стосується опромінення японців, які пережили атомне бомбардування в Хіросімі і Нагасакі. Всі вони, а також їх діти більш 70 років знаходяться під ретельним медичним спостереженням і всі показники здоров'я цих осіб постійно зіставляються з контрольною групою. Отримані дані однозначно свідчать, що допоки лише рак є єдиною причиною підвищеної смертності в цій групі населення. Це підтверджують матеріали по інших групах населення (робітники уранових копалень, жителі тихоокеанських островів, що попали під радіоактивні осадки). Останніми роками до них додалися дані спостереження над наслідками Чорнобильської катастрофи [1].

Світова наука і практика радіаційного захисту сьогодні виходить з безпорогової концепції впливу радіації на організм людини: вважається, що будь-яка скільки завгодно мала доза збільшує вірогідність захворювання на рак і всяка додаткова доза ще більше збільшує цю вірогідність. Приймаючи вихідні положення про безпороговість дії радіації і збільшення ризику із зростанням дози, необхідно знати, в якій саме мірі це зростання ризику відбувається. Прямих даних на людях в області малих доз (нижче 100 мЗв), що дозволяють побудувати залежність ефекту від величини дози, як вже вказувалося вище, поки ще немає. В той же час, при дозах більше 100 мЗв, де такі дані є, ця залежність має лінійний характер, тобто ризик канцерогенних ефектів зростає прямо пропорційно дозі.

Вочевидь, що в діапазоні 0-100 мЗв залежність «доза-ефект» в принципі може мати три форми: лінійну (А), надлінійну (Б) і сублінійну (В). Світовою наукою в даний час прийнята лінійна концепція (А), що є прямою екстраполяцією ходу кривої «доза-ефект» з області високих доз в область малих доз. Деякі науковці вважають, що при цьому реальний ризик опромінення малими дозами помітно переоцінюється, особливо для рідко іонізуючих випромінювань, що включає гамма- і рентгенівське випромінювання. Проте, за відсутності абсолютно надійних доказів на користь варіанту (В), визнано доцільним «перестраховатися» і виходити з обережнішого допущення (А). Це відповідає гуманному підходу до забезпечення радіаційного захисту бо створюючи цей захист (шляхом нормативів, правил, конструктивних засобів) краще переоцінити передбачувану небезпеку, ніж недооцінити її.

Тим не менш, в науковій літературі в останні роки обговорюється правомірність твердження про наявність виникнення раку при опроміненні в діапазоні малих доз (до 100 мЗв). Що стосується спадкових захворювань, то поки ще немає ніяких обґрунтованих доказів, щоб відмовитися від концепції прямо пропорційної залежності ефекту від дози в діапазоні малих доз для виникнення генних та хромосомних мутацій, що викликають спадкові захворювання.

В зв'язку з цим при оцінці ризику раку та спадкових захворювань МКРЗ вважає за необхідне більш ґрунтуватися на біологічних проявах, доки не буде

вироблена єдина концепція. З урахуванням цього Комісія в своїй 103 Публікації наводить коефіцієнти номінального ризику прояву раку та спадкових захворювань при опроміненні (табл. 1.1.2.1).

Таблиця 1.1.2.1

**Коефіцієнти номінального ризику з урахуванням шкоди від раку
і спадкових захворювань (10^{-2} Зв⁻¹)**

Опромінена популяція	Рак	Спадкові ефекти	Усього
Вся	5,5	0,2	5,7
Дорослі	4,1	0,1	4,2

Висновки до розділу 1

З метою узагальнення даних щодо рівнів опромінення населення за рахунок природних джерел випромінювання проведено аналіз закордонної і вітчизняної наукової літератури. За даними НКДАР ООН середньосвітова річна ефективна доза опромінення на душу населення від природних джерел складає 2,4 мЗв, що становить 46% сумарної дози опромінення людини. Встановлено, що в Україні середньозважена сумарна ефективна доза опромінення населення, обумовлена природними джерелами, складає 3,5 мЗв·рік⁻¹. Вклад керованої компоненти в сумарну дозу оцінюється в 2,8 мЗв·рік⁻¹, причому істотна доля цієї дози формується за рахунок радону-222 в повітрі приміщень – 2,4 мЗв·рік⁻¹.

В останні роки радонова проблема набуває ще більшого значення. Так, в 2010 році вийшла у світ нова «радонова» Публікація МКРЗ № 115, яка збільшила в 1,8 разів радіаційні ризики для населення для ситуації опромінення радоном. Крім того, в 2011 році вперше в практиці протирадіаційного захисту в Міжнародні стандарти радіаційної безпеки (BSS) МАГАТЕ було впроваджено вимоги до обмеження опромінення радоном.

Радон є найбільш визначальним радіаційним фактором для населення, що потребує особливої уваги і ретельного регулюючого контролю за допомогою державних програм. Усе вищевикладене послугувало основою для виконання даної роботи.

РОЗДІЛ 2

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Об'єкти та об'єм досліджень

В якості матеріалів для аналізу використані результати досліджень ДУ «Запорізький обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ України» щодо вмісту техногенних та природних радіонуклідів у питній воді, продуктах харчування та об'єктах довкілля. Крім того, проаналізовані дані державної статистичної звітності – річні «Звіти про фактори навколишнього середовища, що впливають на стан здоров'я населення» (ф. 18), піврічні звіти «Про проведення радіаційно-гігієнічного моніторингу об'єктів довкілля Запорізької області (ф. Р-1) за 2019-2021 рр. Оцінювання результатів моніторингу здійснювалось згідно з Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97) [5], чинними санітарними нормами і правилами [18] та за даними багаторічних спостережень радіологічної ситуації в Запорізькій області.

Для визначення рівнів опромінення населення за рахунок природних джерел використовувались результати потужності поглиненої у повітрі дози гамма-випромінювання на відкритій місцевості та у приміщеннях; значення питомої активності природних радіонуклідів у будівельних матеріалах, мінеральній будівельній сировині; ґрунті; харчових продуктах; питній воді з підземних та поверхневих джерел водопостачання; значення вимірювань середньорічної еквівалентної рівноважної об'ємної активності (ЕРОА) радону-222 в житлових та громадських будівлях. Об'єм проаналізованих досліджень наведено в табл. 2.1.1.

Таблиця 2.1.1

Обсяг проаналізованих даних показників радіоактивності в 2019-2021 рр.

Види досліджень	Кількість проб				
	2019		2020		2021
	I	II	I	II	
Гамма-фон території	4704	5067	4442	4680	8789
Гамма-фон в приміщеннях	681	239	458	216	365
Дозиметричні виміри на радіологічних об'єктах	1202	1012	129	138	1101

Продовження таблиці 2.1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вода відкр. водойм	4	4										
Харчові продукти								71	72			
Повітря			8									
Будівельні матеріали										549	549	549
Деревина									5			
Ґрунт									4	4	4	4
Інші	212	196	4						44	57	57	49
Усього	277	261	21					71	125	621	621	608

У I-півріччі 2020 року усього виконано 2409 досліджень. Види і номенклатура загальної кількості досліджень наведено в табл. 2.1.4.

Таблиця 2.1.4

Загальна кількість досліджень

Назва об'єкту дослідження	Радіометрія			Радіохімічні дослідження				Спектрометричні виміри				
	Σ α - акт.	Σ β - акт.	222 Rn	90 Sr	137 Cs	226 Ra	238 U	90 Sr	137 Cs	226 Ra	232 Th	40 K
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вода питна	79	79	8									
Вода відкр. водойм	4	4										
Харчові продукти								40	40			
Повітря			2									
Будівельні матеріали										542	542	542
Деревина												
Ґрунт									3	3	3	3
Інші	116	116							63	76	76	63
Усього	199	199	10					40	111	621	621	608

У II-півріччі 2020 року усього виконано 1968 досліджень. Види і номенклатура загальної кількості досліджень наведено в табл. 2.1.5.

Таблиця 2.1.5

Загальна кількість досліджень

Назва об'єкту дослідження	Радіометрія			Радіохімічні дослідження				Спектрометричні виміри				
	$\Sigma \alpha$ -акт.	$\Sigma \beta$ -акт.	²²² Rn	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³⁸ U	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вода питна	55	55	7									
Вода відкр. водойм	3	3										
Харчові продукти								44	44			
Повітря			1									
Будівельні матеріали										1118	1118	1118
Деревина									3			
Ґрунт									3	3	3	3
Інші	178	148	4						34	37	37	37
Усього	236	206	12					44	84	462	462	462

За 2021 рік усього виконано 5022 досліджень. Види і номенклатура загальної кількості досліджень наведено в табл. 2.1.6.

Таблиця 2.1.6

Загальна кількість досліджень

Назва об'єкту дослідження	Радіометрія			Радіохімічні дослідження				Спектрометричні виміри				
	$\Sigma \alpha$ -акт.	$\Sigma \beta$ -акт.	²²² Rn	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³⁸ U	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вода питна	65	65	12									
Вода відкр. водойм	5	5										
Харчові продукти								60	61			

Продовження таблиці 2.1.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Повітря			25									
Будівельні матеріали										1118	1118	1118
Деревина									3			
Ґрунт									9	6	6	6
Інші	299	299	4						171	174	174	174
Усього	369	369	41					60	244	1298	1298	1298

Дослідження активності радону-222 в повітрі приміщень та питній воді проводились радіометричним методом. Всього було проведено вимірів ЕРОА радону-222 в повітрі приміщень: 56 вимірів (2019 р.), 3 - (2020 р.), 25 – (2021 р.). Радіометрія питної води склала: 16 досліджень в 2019 р., 15 – в 2020 р., 25 – в 2021 р.

2.2. Методи вимірювання

2.2.1. Контроль рівнів зовнішнього гамма-випромінювання

Вимірюванню піддавалися усі житлові, громадські та виробничі споруди, де розташовані робочі місця з постійним перебуванням людей. В усіх приміщеннях, площа яких, не перевищувала 50 м², вимір здійснювався в одній точці (враховувалось середнє значення 3-х вимірів) в геометричному центрі на рівні 1 м від підлоги. В приміщеннях, де площа перевищувала 50 м², вимір виконувався в одній точці на кожні повні та неповні 50 м² площі.

Дослідження потужності поглиненої дози в повітрі на відкритій місцевості здійснювався дозиметром ДРГ-01Т на відстані 1 м над ґрунтом. Результатом виміру приймалася середня величина трьох послідовних вимірів.

Виміри здійснювалися дозиметричними приладами, що повірені, з нижньою межею вимірювань 0,1 мкЗв·год⁻¹ (10 мкР·год⁻¹) і залежністю чутливості від енергії гамма-випромінювання («хід з жорсткістю») не більше 30% в діапазоні енергій 0,03-3,0 МеВ.

2.2.2. Дослідження природних радіонуклідів у пробах будівельних матеріалів

Для вимірювання рівня радіоактивності проб будівельних матеріалів застосовувався спектрометричний метод з використанням сцинтиляційного спектрометра енергій гамма-випромінювання СЕГ-001 «АКП-С».

При вимірюванні використовувалися ємності Маринеллі об'ємом 1 літр. Мінімальна вимірювана питома активність приладу для цієї геометрії і при вимірюванні проби з експозицією 3600 с склала для ^{226}Ra – 9,1 Бк·кг⁻¹, ^{232}Th – 3,5 Бк·кг⁻¹, ^{40}K – 28 Бк·кг⁻¹.

Калібрування гамма-спектрометра проводилося зразковими об'ємними джерелами ДП «Запорізький науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації» при проведенні щорічної повірки.

Щоденна перевірка спектрометра проводилася в процесі роботи за допомогою джерела з комплекту приладу активністю за паспортом: ^{137}Cs – 2 кБк, ^{40}K – 16 кБк. За допомогою цього джерела перевірялася якість енергетичної калібровки спектрометра.

Величина ефективної питомої активності природних радіонуклідів у будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині визначалася порівнянням швидкості підрахунку імпульсів у калібрувальній і досліджуваній пробі у фіксованих енергетичних інтервалах. Межі цих інтервалів для сцинтиляційних детекторів з енергетичною розподільною здатністю $\leq 10,5\%$ знаходяться на ділянках, які містять піки повного поглинання, МеВ: ^{40}K – 1,4-1,54; ^{226}Ra – 1,69-1,94; ^{232}Th – 2,5-2,75.

2.2.3. Дослідження радіонуклідів у харчових продуктах

Оскільки основними радіонуклідами в харчових продуктах є ^{90}Sr і ^{137}Cs , для аналізу рівнів опромінення населення визначались саме ці радіонукліди.

Проби харчових продуктів, які складають харчовий раціон, відбирались з контрольних точок. Придатність харчового продукту для вживання за вмістом в ньому радіонуклідів ^{90}Sr і ^{137}Cs визначалась за показником відповідності В з урахуванням похибки його визначення ΔB .

Оцінка харчового продукту відповідності вимогам радіаційної безпеки проводилась шляхом перевірки виконання умови:

$$B + 0,6 \cdot \Delta B \leq 1 \quad (2.1)$$

де 0,6 – коефіцієнт, розрахований для достовірності контролю, що характеризується довірчою ймовірністю 0,95.

Харчовий продукт вважається придатним для використання за призначенням, якщо виконується умова (2.1).

За даними Головного управління статистики у Запорізькій області основними продуктами харчування, що складають річний раціон, є м'ясо та м'ясопродукти, молоко та молокопродукти, хліб, риба, картопля, овочі та фрукти. Згідно з планами роботи ДУ «Запорізький обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ України», щорічно складається графік відбору і доставки проб та проведення досліджень. Для цього визначені контрольні пункти в Кам'янка-Дніпровському районі, де розташована Запорізька АЕС та в Запорізькому (контрольному) районі. Номенклатура проб, що відбираються, встановлена виходячи з найбільш вживаних продуктів харчування.

В нашій роботі був проведений аналіз питомої активності радіонуклідів в харчових продуктах за період 2019-2021 рр. Оцінка результатів дослідження проводилась згідно нормативного документу «Допустимими рівнями вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді» (ГН 6.6.1.1-130-2006) п.29.

2.2.4. Дослідження питомої активності природних радіонуклідів у пробах питної води з підземних та поверхневих джерел водопостачання

Визначення ^{222}Rn в питній воді здійснювалося за допомогою методу гамма-спектрометричного аналізу на сцинтиляційному спектрометрі енергій гамма-випромінювання СЕГ-001 «АКП-С».

Відбір проб води здійснювався за допомогою шлангу в банку, ємністю 1л, що вміщувалась у відро. Коли банка заповнюється доверху і вода починає

переливатися через край, банка обережно закривається кришкою, перевертається під водою, виймається та закручується ключем.

Банка з пробєю води вміщувалася в свинцевий захисний пристрій гамма-спектрометра, що попередньо був відкалібрований на цю геометрію.

Питома активність радону-222 визначалася за гамма-випроміненням його дочірніх радіонуклідів – ^{214}Pb та ^{214}Bi шляхом усереднення за енергетичними лініями 0,351; 0,609; 1,764 МеВ. Для дослідження ^{226}Ra відбиралось – 10 л, ^{238}U – 100 мл води.

Метод дослідження ^{226}Ra заснований на виділенні радію із солянокислих проб у вигляді сульфату радію-барію та вимірюванні активності еманції радію-радоу на сцинтиляційному радіометрі САС-Р2. Метод дослідження заснований на осадженні дочірнього ^{228}Ac з носієм лантаном азотнокислим і наступним визначенням β -радіоактивності на малофонової установці УМФ-2000. Чутливість методу складає $3 \cdot 10^{-3}$ Бк/пробу.

Метод дослідження ^{238}U заснований на реакції взаємодії арсеназо III з чотирьохвалентним ураном з утворенням розчину фіолетового кольору та вимірюванні оптичної щільності розчину на приладі КФК-2. Чутливість методу складає 0,008 мг/л.

2.2.5. Дослідження середньорічної еквівалентної рівноважної об'ємної активності (ЕРОА) радону-222 в житлових та громадських будівлях

Вплив радіації на організм людини при знаходженні в приміщенні складається з зовнішнього та внутрішнього опромінення. Внутрішнє опромінення створюється радоном, що дифундує із ґрунту та будівельних конструкцій в повітря житлових і виробничих приміщень і потрапляючи до легеневої тканини, обумовлює її опромінення. Єдиним надійним способом виявлення радонової небезпеки в приміщеннях є безпосереднє вимірювання об'ємної активності (ОА) радону або продуктів його розпаду.

Дослідження вмісту радону-222 в повітрі житлових та громадських будівель проводилось радіометричним методом за допомогою приладу – радіометр радону

РРА-01М-01. Як оцінку математичного очікування величини активності радону за отриманою вибіркою значень було використано середнє геометричне.

Оцінка результатів дослідження середньорічної ЕРОА ^{222}Rn в житлових та громадських будівлях проводилась згідно відповідності рівнів радону існуючим нормативам – відсоток зафіксованого перевищення нормативу для існуючих будівель – $100 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ і нормативу для новобудов – $50 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ згідно з НРБУ-97.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Дослідження потужності поглиненої у повітрі дози гамма-випромінювання на відкритій місцевості та у приміщеннях з метою оцінки рівнів опромінення населення

3.1.1. Аналіз результатів вимірювань потужності поглиненої у повітрі дози гамма-випромінювання на відкритій місцевості

В Запорізькій області були проведені дослідження з метою визначення рівнів гамма-фону на відкритій місцевості та в житлових приміщеннях, а також оцінки опромінення населення від джерел природного походження.

Таблиця 3.1.1.1

Результати вимірювань потужності поглиненої у повітрі дози гамма-випромінювання на відкритій місцевості, мкР·год⁻¹ (I-півріччя 2019 р.)

№ з/п	Населений пункт	Кількість вимірювань	Середнє	Мінімальне	Максимальне
1	м. Запоріжжя	1407	12,80	10,00	15,00
2	м. Мелітополь	125	15,20	13,50	16,80
3	смт. Семенівка	100	14,20	13,90	14,50
4	смт. Веселе	100	14,30	13,60	14,70
5	м. Бердянськ	182	11,62	10,00	16,00
6	смт. Андріївка	182	10,55	10,00	14,00
7	м. Енергодар	880	9,68	5,00	15,00
8	м. Кам'янка-Дніпровська	130	10,71	7,00	16,00
9	с. В. Білозерка	130	8,79	6,00	13,00
10	м. Пологи	605	15,18	11,00	18,00
11	смт. Більмак	120	13,20	11,50	13,50
12	смт. Розівка	30	10,90	9,70	11,70
13	м. Токмак	125	11,50	10,00	13,00
14	м. Оріхів	125	16,50	16,30	17,00
Разом		4241	12,5	5,0	18,00

Таблиця 3.1.1.2

Результати вимірювань потужності поглиненої у повітрі дози гамма-випромінювання на відкритій місцевості, мкР·год⁻¹ (II-півріччя 2019 р.)

№ з/П	Населений пункт	Кількість вимірювань	Середнє	Мінімальне	Максимальне
1	м. Запоріжжя (ОЛЦ)	1155	12,6	12,0	14,0
2	м. Мелітополь	425	12,9	8,0	20,0
3	Запорізька обл., м. Оріхів, вул. Правди,2	125	16,7	16,2	17,5
4	сmt. Більмак (сквер ЦРЛ)	120	13,1	11,5	13,5
5	сmt. Розівка (сквер ЦРЛ)	30	10,8	9,7	11,7
6	м. Пологи	600	13,3	12,0	17,0
7	м. Токмак	250	12,0	10,0	14,0
8	м. Василівка	130	13,2	20,0	8,0
9	м. Дніпрорудне	130	14,5	18,0	9,0
10	сmt. Михайлівка	130	9,4	18,0	4,0
11	м. Бердянськ	222	11,7	10,0	15,0
12	сmt. Андріївка	215	10,8	10,0	14,0
13	м. Мелітополь ПК ім. Горького	140	15,5	10,0	17,0
14	м. Мелітополь, вул. Беякова	5	10,6	9,0	12,0
15	м. Мелітополь, вул. Чкалова	5	14,2	11,0	17,0
16	м. Мелітополь, вул. Сухова	5	12,0	10,0	15,0
17	м. Мелітополь, Східний виїзд	5	15,6	14,0	17,0
18	Мелітопольський р-н, с. Семенівка	100	12,8	12,6	13,0
19	Веселівський р-н, с. Веселе	100	12,9	12,7	13,1
20	м. Енергодар	915	10,6	4,0	22,0
21	м. Кам'янка- Дніпровська	130	11,1	6,0	18,0
22	с. В. Білозірка	130	10,3	6,0	17,0
Разом		5067	17,5	6,0	22,0

Таблиця 3.1.1.3

Результати вимірювань потужності поглиненої у повітрі дози гамма-випромінювання на відкритій місцевості, мкР·год⁻¹ (I-півріччя 2020 р.)

№ з/п	Населений пункт	Кількість вимірювань	Середнє	Мінімальне	Максимальне
1	м. Запоріжжя	1042	12,8	8,0	18,0
2	м. Василівка	130	13,2	6,0	19,0
3	м. Дніпрорудне	130	14,4	9,0	19,0
4	сmt. Михайлівка	130	9,6	5,0	14,0
5	м. Енергодар	880	9,6	5,0	18,0
6	м. Кам'янка-Дніпровська	65	11,3	8,0	15,0
7	с. Велика Білозірка	65	10,2	7,0	14,0
8	м. Мелітополь	130	15,8	13,8	17,9
9	м. Пологи	610	12,4	8,0	15,0
10	сmt. Більмак	30	12,3	9,0	14,0
11	сmt. Розівка	30	12,5	9,0	14,0
12	м. Оріхів	445	12,2	11,8	12,6
13	Мелітопольський р-н	76	13,9	13,6	14,3
14	Веселівський р-н	65	14,1	13,7	14,4
15	м. Токмак	125	12,0	10,0	15,0
16	сmt. Чернігівка	125	13,4	11,0	16,0
17	м. Бердянськ	182	12,4	10,0	16,0
18	сmt. Андріївка	182	11,4	10,0	14,0
Разом		4442	12,4	5,0	19,0

Таблиця 3.1.1.4

Результати вимірювань потужності поглиненої у повітрі дози гамма-випромінювання на відкритій місцевості, мкР·год⁻¹ (II-півріччя 2020 р.)

№ з/п	Населений пункт	Кількість вимірювань	Середнє	Мінімальне	Максимальне
1	2	3	4	5	6
1	м. Запоріжжя	985	12,5	11,0	14,0
2	м. Бердянськ	182	11,7	10,0	17,0
3	сmt. Андріївка	182	10,5	10,0	14,0
4	м. Енергодар	915	9,6	5,0	17,0
5	м. Кам'янка-Дніпровська	130	11,1	8,0	17,0
6	с. В. Білозірка	130	9,8	6,0	14,0
7	м. Мелітополь	130	15,1	13,2	17,1
8	м. Пологи	590	12,4	9,0	15,0

Продовження таблиці 3.1.1.4

1	2	3	4	5	6
9	смт. Більмак	30	10,7	9,0	15,0
10	смт. Розівка	30	10,2	9,0	14,0
11	м. Орхів	600	12,3	12,0	12,8
12	Мелітопольський р-н	126	12,7	12,6	12,9
13	Веселівський р-н	10	12,7	12,6	13,0
14	м. Токмак	125	11,0	10,0	14,0
15	смт. Чернігівка	125	13,8	11,0	16,0
16	м. Василівка	130	14,1	10,0	20,0
17	м. Дніпрорудне	130	15,7	9,0	20,0
18	смт. Михайлівка	130	9,5	3,0	14,0
Разом		4680	11,9	3,0	20,0

Таблиця 3.1.1.5

Результати вимірювань потужності поглиненої у повітрі дози гамма-випромінювання на відкритій місцевості, мкР·год⁻¹ у 2021 році

№ з/п	Населений пункт	Кількість вимірювань	Середнє	Мінімальне	Максимальне
1	м. Запоріжжя	1930	14,7	8,0	18,0
2	м. Бердянськ	364	12,0	10,0	16,0
3	смт. Андріївка	364	10,8	10,0	13,0
4	м. Василівка	260	13,9	9,0	19,0
5	м. Дніпрорудне	260	14,8	10,0	21,0
6	смт. Михайлівка	260	9,6	7,0	14,0
7	м. Мелітополь	260	14,6	12,5	16,8
8	м. Пологи	1200	9,6	4,0	14,0
9	м. Орхів	1200	12,2	12,0	12,6
10	смт. Семенівка	238	12,5	12,0	12,7
11	смт. Веселе	40	13,0	12,0	12,8
12	м. Токмак	250	12,6	11,0	16,0
13	смт. Чернігівка	250	12,6	11,0	16,0
14	м. Енергодар	1790	9,5	5,0	17,0
15	м. Кам'янка-Дніпровська	60	11,5	8,0	15,0
16	с. В. Білозерка	60	11,0	8,0	17,0
17	смт. Якимівка	3	11,0	10,0	13,0
Разом		8789	12,1	4,0	21,0

Продовження таблиці 3.1.2.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5	м. Мелітополь ФОП Ходус	5	11,2	13,0									
6	м. Мелітополь КМП	20	13,2	15,0									
7	м. Бердянськ	55	12,6	18,0									
Разом		172	11,7	1,08	67	11,8	19,0						

Таблиця 3.1.2.8

Результати вимірювань потужності поглиненої у повітрі дози гамма-випромінювання у приміщеннях, мкР·год⁻¹ (I-півріччя 2020 р.)

№ з/п	Населений пункт	Кількість вимірювань і значення потужності дози											
		Тип матеріалу будівлі											
		цегла			залізобетон			деревина			інші		
		к-ть вим	середнє	макс	к-ть вим	середнє	макс	к-ть вим	середнє	макс	к-ть вим	середнє	макс
1	м. Бердянськ	10	11,9	13,0	15	13,7	15,0	60	13,3	15,0			
2	м. Запоріжжя	34	12,2	15,0									
3	м. Мелітополь				10	13,1	14,0						
Разом		44	12,1	15,0	25	13,4	15,0	60	13,3	15,0			

Таблиця 3.1.2.9

Результати вимірювань потужності поглиненої у повітрі дози гамма-випромінювання у приміщеннях, мкР·год⁻¹ (II-півріччя 2020 р.)

№ з/п	Населений пункт	Кількість вимірювань і значення потужності дози											
		Тип матеріалу будівлі											
		цегла			залізобетон			деревина			інші		
		к-ть вим	середнє	макс	к-ть вим	середнє	макс	к-ть вим	середнє	макс	к-ть вим	середнє	макс
	м. Запоріжжя	72	9,8	16,0	48	10,6	17,0						
	м. Бердянськ	10	13,8	17,0				25	13,0	14			
	м. Мелітополь	55	13,5	17,0									
	Якимівський р-н	6	13,0	16,0									
Разом		143	12,5	17,0	48	10,6	17,0	25	13,0	14			

Таблиця 3.1.2.10

Результати вимірювань потужності поглиненої у повітрі дози гамма-випромінювання у приміщеннях, мкР·год⁻¹, мкР·год⁻¹ у 2021 році

№ з/п	Населений пункт	Кількість вимірювань і значення потужності дози											
		Тип матеріалу будівлі											
		цегла			залізобетон			деревина			інші		
		к-ть вим	середнє	макс	к-ть вим	середнє	макс	к-ть вим	середнє	макс	к-ть вим	середнє	макс
1	м. Запоріжжя	115	9,0	14,0	55	8,0	17,0						
2	м. Бердянськ	5	11,4	13,0							75	10,9	14,0
3	с. Трояни	5	11,6	14,0									
4	смт. Андріївка										5	11,0	12,0
5	с. Осипенко										5	11,8	13,0
6	с. Азовське										5	12,0	14,0
7	м. Мелітополь	85	11,5	14,0									
8	м. Пологи	10	16,0	17,0									
Разом		220	7,4	17,0	55	8,0	17,0				90	5,7	14,0

3.1.3. Оцінка рівнів опромінення населення від природних джерел випромінювання

Для оцінки рівнів опромінення населення Запорізької області, що отримуються за рахунок природної радіації, проаналізовані існуючі рівні гамма-фону у приміщеннях житлових будівель та на відкритій місцевості за період 2019-2021 рр.

Аналіз рівнів гамма-фону в приміщеннях будинків із цегли показав (табл. 3.1.3.11), що усереднена величина потужності поглиненої дози гамма-випромінювання в повітрі приміщень дещо менше виміряної величини на відкритій місцевості і складає у середньому 10,5 мкР·год⁻¹.

Таблиця 3.1.3.11

**Усереднені рівні потужності поглиненої дози в будинках
(буд. матеріал - цегла), мкР·год⁻¹**

Рік	Кількість вимірів	D± σ
2019	622	11,85±0,11
2020	187	12,3±0,13
2021	220	7,4±0,23
Разом	1029	У середньому 10,5±0,15

Аналіз рівнів гамма-фону в приміщеннях будинків із деревини показав (табл. 3.1.3.12), що усереднена величина потужності поглиненої дози гамма-випромінювання в повітрі приміщень дещо менше вимірної величини на відкритій місцевості і складає у середньому 12,3 мкР·год⁻¹.

Таблиця 3.1.3.12

**Усереднені рівні потужності поглиненої дози в будинках
(буд. матеріал - деревина), мкР·год⁻¹**

Рік	Кількість вимірів	D± σ
2019	20	11,6±0,11
2020	85	13,1±0,13
Разом	105	У середньому 12,3±0,12

Аналіз рівнів гамма-фону в приміщеннях будинків із залізобетону показав (табл. 3.1.3.13), що усереднена величина потужності поглиненої дози гамма-випромінювання в повітрі приміщень дещо менше вимірної величини на відкритій місцевості і складає у середньому 10,6 мкР·год⁻¹.

Таблиця 3.1.3.13

**Усереднені рівні потужності поглиненої дози в будинках
(буд. матеріал - залізобетон), мкР·год⁻¹**

Рік	Кількість вимірів	D± σ
2019	67	11,8±0,11
2020	73	12,0±0,13
2021	55	8,0±0,21
Разом	195	У середньому 10,6±0,15

Аналіз рівнів гамма-фону в приміщеннях будинків показав, що усереднена величина потужності поглиненої дози гамма-випромінювання в повітрі приміщень складає у середньому $11,1 \text{ мкР}\cdot\text{год}^{-1}$, що дещо менше вимірної величини на відкритій місцевості ($13,1 \text{ мкР}\cdot\text{год}^{-1}$).

Усереднені результати щоденних вимірів потужності поглиненої дози в повітрі на відкритій місцевості за 2019-2021 роки, що проведені в процесі радіаційно-гігієнічного моніторингу представлені в табл. 3.1.3.14

Таблиця 3.1.3.14

**Усереднені рівні гамма-фону на відкритій місцевості в
контрольній точці ($\text{мкР}\cdot\text{год}^{-1}$)**

Рік	Кількість вимірів	$D\pm\sigma$
2019	9308	$15,0\pm 0,13$
2020	9122	$12,2\pm 0,09$
2021	8789	$12,1\pm 0,12$
Разом	27219	У середньому $13,1\pm 0,11$

Усереднена за 3 роки потужність поглиненої дози в повітрі на відкритій місцевості склала $13,1 \text{ мкР}\cdot\text{год}^{-1}$.

3.2. Дослідження питомої активності природних радіонуклідів у будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині

За різноманітністю і багатством мінерально-сировинних ресурсів Запорізька область займає одне з провідних місць в Україні. Згідно з державним балансом запасів в області налічується 25 видів корисних копалин, розвідано 131 родовище, 114 родовищ враховано Державним балансом України, з яких 36 знаходиться в експлуатації. У регіоні знаходяться значні запаси залізних і марганцевих руд, гранітів. Доля регіону в сумарних запасах мінеральної сировини в Україні складає: пегматити - 88%, апатити - понад 63%, марганцеві руди - 69%, каоліни - 22,9%, залізна руда - 10%, вогнетривкі глини - 8,6%.

Усі будівельні матеріали, які виготовляються із викопної сировини мають ту чи іншу природну радіоактивність. Вміст природних радіонуклідів в будівельних матеріалах відрізняється великою різноманітністю. Середні питомі активності

природних радіонуклідів в різних викопних матеріалах залежать від родовищ, звідки використовується мінеральна сировина.

Наводимо дані питомої активності природних радіонуклідів у будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині місцевих родовищ Запорізької області (табл. 3.2.15 – 3.2.19).

Таблиця 3.2.15

Питома активність природних радіонуклідів у будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині, Бк·кг⁻¹ (I-півріччя 2019 р.)

Підприємство	Найменування проби (зразка)	Ефективна питома активність	Клас застосування
Пр. АТ «Новополтавський кар'єр»	пісок з відсівів дроблення	166,7	1
Пр. АТ «Новополтавський кар'єр»	пісок з відсівів дроблення	171,2	1
Пр. АТ «Новополтавський кар'єр»	пісок з відсівів дроблення	145,5	1
Пр. АТ «Новополтавський кар'єр»	пісок з відсівів дроблення	166,4	1
Пр. АТ «Новополтавський кар'єр»	пісок з відсівів дроблення	172,8	1
Пр. АТ «Запорізьке кар'єроуправління»	щебінь фр. 3-10 мм	125,6	1
Пр. АТ «Запорізьке кар'єроуправління»	щебінь фр. 10-15 мм	113,5	1
Пр. АТ «Запорізьке кар'єроуправління»	щебінь фр. 10-20 мм	97,6	1
Пр. АТ «Запорізьке кар'єроуправління»	щебінь фр. 0-40 мм	103,6	1
Пр. АТ «Запорізьке кар'єроуправління»	щебінь фр. 0-70 мм	116,6	1
ТОВ «Мокрянський кам'яний кар'єр» №3	щебінь суміш фракцій	317,7	1
ТОВ «Мокрянський кам'яний кар'єр» №3	щебінь суміш фракцій	321,2	1
ТОВ «Мокрянський кам'яний кар'єр» №3	щебінь суміш фракцій	318,0	1
ТОВ «Мокрянський кам'яний кар'єр» №3	щебінь суміш фракцій	332,5	1
ТОВ «Мокрянський кам'яний кар'єр» №3	щебінь суміш фракцій	329,9	1

За 1-е півріччя 2019 р. проведено 1710 дослідження (570 проб) будматеріалів, клас застосування – перший (548 проб), другий (22 проби).

Ефективна питома активність природних радіонуклідів в будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині Запорізьких кар'єрів (див. табл. 3.2.15) коливається в межах 97,6 – 332,5 Бк·кг⁻¹, що не перевищує допустимий норматив 370 Бк·кг⁻¹, згідно НРБУ-97, що дає можливість використання цієї сировини в житловому будівництві.

Таблиця 3.2.16

Питома активність природних радіонуклідів у будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині, Бк·кг⁻¹ (II-півріччя 2019 р.)

Підприємство	Найменування проби (зразка)	Ефективна питома активність	Клас застосування
ПАТ «Судноплавна компанія УКРРІЧФЛОТ» Філія «Запорізький річковий порт»	пісок будівний	17,5	1
ПАТ «Судноплавна компанія УКРРІЧФЛОТ» Філія «Запорізький річковий порт»	пісок будівний	12,1	1
ПАТ «Судноплавна компанія УКРРІЧФЛОТ» Філія «Запорізький річковий порт»	пісок будівний	17,6	1
ПАТ «Судноплавна компанія УКРРІЧФЛОТ» Філія «Запорізький річковий порт»	пісок будівний	12,4	1
ПАТ «Судноплавна компанія УКРРІЧФЛОТ» Філія «Запорізький річковий порт»	пісок будівний	19,2	1
ТОВ Токмацький гранітний кар'єр	пісок з відсівів дроблення	128,9	1
ТОВ Токмацький гранітний кар'єр	пісок з відсівів дроблення	139,1	1
ТОВ Токмацький гранітний кар'єр	пісок з відсівів дроблення	143,4	1
ТОВ Токмацький гранітний кар'єр	пісок з відсівів дроблення	153,4	1
ТОВ Токмацький гранітний кар'єр	пісок з відсівів дроблення	154,1	1
ТОВ «Трудівський щебеновий кар'єр»	пісок (відсів)	193,4	1
ТОВ «Трудівський щебеновий кар'єр»	пісок (відсів)	189,7	1
ТОВ «Трудівський щебеновий кар'єр»	пісок (відсів)	176,3	1
ТОВ «Трудівський щебеновий кар'єр»	пісок (відсів)	186,0	1
ТОВ «Трудівський щебеновий кар'єр»	пісок (відсів)	181,6	1

За 2-е півріччя 2019 р. проведено 1602 дослідження (534 проби) будматеріалів, клас застосування – перший (524 проби), другий (30 проб).

Ефективна питома активність природних радіонуклідів в будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині Запорізьких кар'єрів (див. табл. 3.2.16) коливається в межах 12,1 – 193,4 Бк·кг⁻¹, що не перевищує допустимий норматив 370 Бк·кг⁻¹, згідно НРБУ-97, що дає можливість використання цієї сировини в житловому будівництві.

Таблиця 3.2.17

Питома активність природних радіонуклідів у будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині, Бк·кг⁻¹ (I-півріччя 2020 р.)

Підприємство	Найменування проби (зразка)	Ефективна питома активність	Клас застосування
Пр. АТ «Запорізьке кар'єро-управління»	відсів 0-5 мм	53,6	1
Пр. АТ «Запорізьке кар'єро-управління»	відсів 0-5 мм	54,2	1
Пр. АТ «Запорізьке кар'єро-управління»	відсів 0-5 мм	54,6	1
Пр. АТ «Запорізьке кар'єро-управління»	відсів 0-5 мм	87,3	1
Пр. АТ «Запорізьке кар'єро-управління»	відсів 0-5 мм	81,2	1
Пр. АТ «Новополтавський кар'єр»	щебінь фр.5-10 мм	122,7	1
Пр. АТ «Новополтавський кар'єр»	щебінь фр.5-10 мм	138,5	1
Пр. АТ «Новополтавський кар'єр»	щебінь фр.5-10 мм	131,2	1
Пр. АТ «Новополтавський кар'єр»	щебінь фр.5-10 мм	130,0	1
Пр. АТ «Новополтавський кар'єр»	щебінь фр.5-10 мм	132,2	1
ТОВ «Мокрянський кам'яний кар'єр» №3	щебінь суміш фракцій	297,2	1
ТОВ «Мокрянський кам'яний кар'єр» №3	щебінь суміш фракцій	281,7	1
ТОВ «Мокрянський кам'яний кар'єр» №3	щебінь суміш фракцій	295,4	1
ТОВ «Мокрянський кам'яний кар'єр» №3	щебінь суміш фракцій	245,3	1
ТОВ «Мокрянський кам'яний кар'єр» №3	щебінь суміш фракцій	230,3	1

За 1-е півріччя 2020 р. проведено 1581 дослідження (527 проб) будматеріалів, клас застосування – перший (522 проби), другий (5 проб).

Ефективна питома активність природних радіонуклідів в будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині Запорізьких кар'єрів (див. табл.

3.2.17) коливається в межах 53,6 – 297,2 Бк·кг⁻¹, що не перевищує допустимий норматив 370 Бк·кг⁻¹, згідно НРБУ-97, що дає можливість використання цієї сировини в житловому будівництві.

Таблиця 3.2.18

Питома активність природних радіонуклідів у будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині, Бк·кг⁻¹ (ІІ-півріччя 2020 р.)

Підприємство	Найменування проби (зразка)	Ефективна питома активність	Клас застосування
ПАТ «Судноплавна компанія УКРРІЧФЛОТ» Філія «Запорізький річковий порт»	пісок річковий	<27,2	1
ПАТ «Судноплавна компанія УКРРІЧФЛОТ» Філія «Запорізький річковий порт»	пісок річковий	<32,1	1
ПАТ «Судноплавна компанія УКРРІЧФЛОТ» Філія «Запорізький річковий порт»	пісок річковий	<31,8	1
ПАТ «Судноплавна компанія УКРРІЧФЛОТ» Філія «Запорізький річковий порт»	пісок річковий	<32,6	1
ПАТ «Судноплавна компанія УКРРІЧФЛОТ» Філія «Запорізький річковий порт»	пісок річковий	<24,2	1
ТОВ Токмацький гранітний кар'єр	щебінь фр.5-10 мм	144,1	1
ТОВ Токмацький гранітний кар'єр	щебінь фр.5-10 мм	150,8	1
ТОВ Токмацький гранітний кар'єр	щебінь фр.5-10 мм	134,7	1
ТОВ Токмацький гранітний кар'єр	щебінь фр.5-10 мм	136,6	1
ТОВ Токмацький гранітний кар'єр	щебінь фр.5-10 мм	140,6	1
АТ «Укр. залізниця» ВП «Трудівський кар'єр»	щебінь фр.5-10 мм	145,0	1
АТ «Укр. залізниця» ВП «Трудівський кар'єр»	щебінь фр.25-60 мм	152,1	1
АТ «Укр. залізниця» ВП «Трудівський кар'єр»	щебінь фр.20-40 мм	131,8	1
АТ «Укр. залізниця» ВП «Трудівський кар'єр»	щебінь фр.5-20 мм	150,8	1
АТ «Укр. залізниця» ВП «Трудівський кар'єр»	щебінь фр.5-25 мм	119,2	1

За 2-е півріччя 2020 р. проведено 1221 дослідження (407 проб) будівельних матеріалів, клас застосування – перший.

Ефективна питома активність природних радіонуклідів в будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині Запорізьких кар'єрів (див. табл.

3.2.18) коливається в межах 24,2 – 152,1 Бк·кг⁻¹, що не перевищує допустимий норматив 370 Бк·кг⁻¹, згідно НРБУ-97, що дає можливість використання цієї сировини в житловому будівництві.

Таблиця 3.2.19

**Питома активність природних радіонуклідів у будівельних матеріалах
та мінеральній будівельній сировині, Бк·кг⁻¹ (2021 р.)**

Підприємство	Найменування проби (зразка)	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	Ефект. пит. акт-ть	Клас застосування
1	2	3	4	5	6	7
Пр. АТ «Запорізьке кар'єро-управління»	щебінь фр.20-40 мм	8,2	22,3	454,0	76,0	1
Пр. АТ «Запорізьке кар'єро-управління»	щебінь фр.20-40 мм	8,4	22,1	537,0	83,0	1
Пр. АТ «Запорізьке кар'єро-управління»	щебінь фр.20-40 мм	8,2	20,2	470,0	74,7	1
Пр. АТ «Запорізьке кар'єро-управління»	щебінь фр.20-40 мм	7,7	26,3	458,0	81,1	1
Пр. АТ «Запорізьке кар'єро-управління»	щебінь фр.20-40 мм	7,6	18,5	477,0	72,4	1
Пр. АТ «Новополтавський кар'єр»	щебінь фр.5-10 мм	11,7	40,7	1220,0	168,7	1
Пр. АТ «Новополтавський кар'єр»	щебінь фр.5-10 мм	12,2	35,6	1190,0	160,0	1
Пр. АТ «Новополтавський кар'єр»	щебінь фр.5-10 мм	12,5	39,2	1180,0	164,2	1
Пр. АТ «Новополтавський кар'єр»	щебінь фр.5-10 мм	12,8	42,7	1250,0	175,0	1
Пр. АТ «Новополтавський кар'єр»	щебінь фр.5-10 мм	12,1	39,3	1220,0	167,3	1
ТОВ «Мокрянський кам'яний кар'єр» №3	щебінь суміш фракцій	14,9	129,0	1160,0	281,6	1
ТОВ «Мокрянський кам'яний кар'єр» №3	щебінь суміш фракцій	16,0	148,0	1170,0	309,3	1
ТОВ «Мокрянський кам'яний кар'єр» №3	щебінь суміш фракцій	15,1	143,0	1190,0	303,6	1
ТОВ «Мокрянський кам'яний кар'єр» №3	щебінь суміш фракцій	15,7	155,0	1130,0	314,8	1
ТОВ «Мокрянський кам'яний кар'єр» №3	щебінь суміш фракцій	14,1	127,0	1100,0	274,0	1
ПАТ «Судноплавна компанія УКРРІЧФЛОТ» Філія «Запорізький річковий порт»	пісок річковий	<9,6	<7,1	<29,3	<21,4	1
ПАТ «Судноплавна компанія УКРРІЧФЛОТ» Філія «Запорізький річковий порт»	пісок річковий	<8,7	<6,3	<26,0	<19,1	1

Продовження таблиці 3.2.19

1	2	3	4	5	6	7
ПАТ «Судноплавна компанія УКРРІЧФЛОТ» Філія «Запорізький річковий порт»	пісок річковий	<10,3	<8,0	<32,4	<23,5	1
ПАТ «Судноплавна компанія УКРРІЧФЛОТ» Філія «Запорізький річковий порт»	пісок річковий	<8,7	<6,8	<27,4	<19,9	1
ПАТ «Судноплавна компанія УКРРІЧФЛОТ» Філія «Запорізький річковий порт»	пісок річковий	<8,3	<6,2	<26,1	<18,6	1
ТОВ Токмацький гранітний кар'єр	щебінь фр.5-10 мм	12,9	61,5	824,0	163,5	1
ТОВ Токмацький гранітний кар'єр	щебінь фр.5-10 мм	11,5	52,9	793,0	148,2	1
ТОВ Токмацький гранітний кар'єр	щебінь фр.5-10 мм	12,2	53,1	784,0	148,4	1
ТОВ Токмацький гранітний кар'єр	щебінь фр.5-10 мм	11,7	51,5	745,0	142,5	1
ТОВ Токмацький гранітний кар'єр	щебінь фр.5-10 мм	12,6	55,8	762,0	150,5	1

За 2021 рік проведено 3279 досліджень (1023 проби) з будматеріалів, клас застосування – перший.

Як бачимо, ефективна питома активність природних радіонуклідів в будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині Запорізьких кар'єрів (див. табл. 3.2.19) коливається в межах 18,6 - 314,8 Бк·кг⁻¹, що не перевищує допустимий норматив 370 Бк·кг⁻¹, (що дорівнює середній активності земної кори) створює дозу опромінення близько 1,0 мЗв·рік⁻¹ на рівні природного гамма-фону. Ця активність і була прийнята як межа використання будматеріалу в житловому будівництві без обмежень, згідно НРБУ-97.

Щоб оцінити стан радіоактивності будівельних матеріалів і доз опромінення населення ДУ «Запорізький обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ України» постійно проводить контроль на всіх стадіях санітарно-епідемічного нагляду, а також при виготовленні будівельних матеріалів на підприємствах будівельної індустрії (рисунок 1).

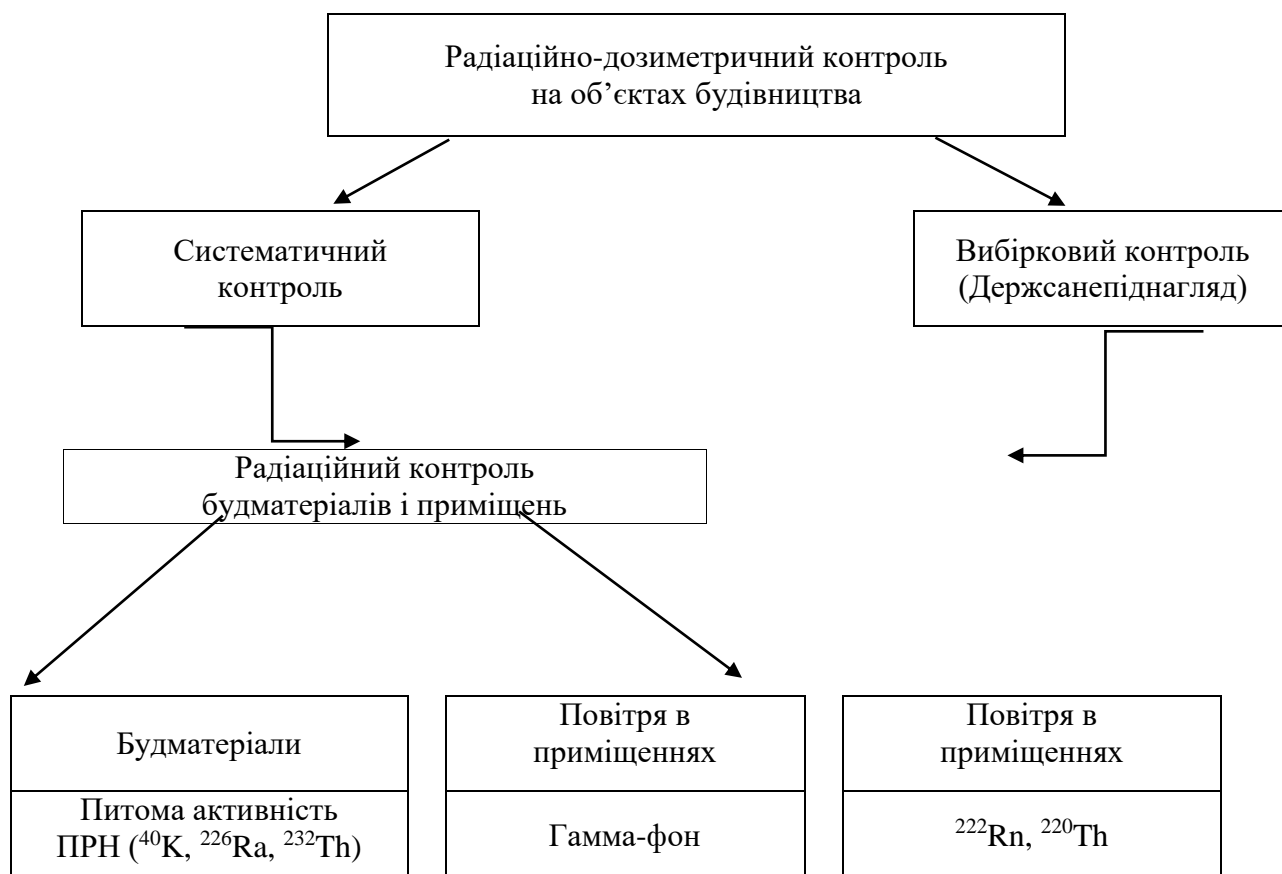


Рисунок 1. Схематичне зображення напрямів радіаційно-дозиметричного контролю на об'єктах будівництва та на підприємствах будівельної індустрії

Радіаційно-дозиметричний контроль на об'єктах будівництва поділяється на систематичний та вибірковий, метою яких є забезпечення нормативного рівня радіаційних параметрів [33].

3.3. Дослідження питомої активності радіонуклідів у ґрунті

Запорізька область розташована в південно-східній частині України і особлива своєю геоморфологічною будовою, яка характеризується наявністю Українського кристалічного масиву, збагаченого мінералами з підвищеним рівнем природної радіоактивності. Цим і пояснюється велика складова дози опромінення населення за рахунок природної компоненти.

Залежно від характеру накопичення радіоактивних елементів в ґрунтах розрізняють природну і штучну радіоактивність. Найбільша природна

радіоактивність обумовлена вмістом радіоактивного калію. Радіоактивність ґрунтів залежить від активності гірських порід, а також інтенсивності процесів обміну радіонуклідів між ґрунтами і ґрунтовими водами, вмісту в ґрунтах води, органічних речовин та інших чинників. Ґрунтовий покрив області представлений такими зональними ґрунтами, як чорноземи звичайні малогумусні, каштанові, солонці, солончаки.

Штучна радіоактивність ґрунтів зумовлена забрудненням їх радіоактивними ізотопами в результаті виробничої діяльності людини або внаслідок радіаційної аварії з викидом радіоактивності в повітря. У результаті аварії на Чорнобильській АЕС, у ґрунти навколишніх територій потрапили різні радіоактивні елементи. Особливо небезпечними є елементи з тривалим періодом напіврозпаду - ^{137}Cs ($T_{1/2} = 33$ роки) і ^{90}Sr ($T_{1/2} = 28$ років). Нами було проаналізовано значення питомої активності радіонуклідів у ґрунті за період 2019-2021 рр. (табл. 3.3.20- 3.3.24).

Таблиця 3.3.20

Питома активність радіонуклідів у ґрунті, Бк·кг⁻¹ (I-півріччя 2019 р.)

Місце відбору	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Бердянський р-н (пляж, пісок)	<1,53	<5,19	13,8	-
м. Оріхів, вул. Запорізька дит. майданчик «Оріхівленд»	16,40	10,40	28,80	163,0
с. В. Білозірка, вул. 8 Марта,3	2,4	не визначається	-	354,0
м. Кам'янка-Дніпровська вул. Каховська, 102	5,5	не визначається	-	-
м. Енергодар, вул. Молодіжна, 16	7,78	не визначається	-	-

Таблиця 3.3.21

Питома активність радіонуклідів у ґрунті, Бк·кг⁻¹ (II-півріччя 2019 р.)

Місце відбору	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
м. Вільнянськ, парк «Ювілейний»	<3,64	<11,1	42,5	489,0
м. Енергодар, вул. Молодіжна, 16	<3,34	<10,1	40,0	552,0

Продовження таблиці 3.3.21

Кам'янка-Дніпровський р-н, с. Цвіткове, вул. Гоголя, 16	<3,27	<9,69	35,1	474,0
Якимівський р-н, ставок-випаровувач ЗАТ «Запорізький залізрудний комбінат»	<2,24	92,1	21,9	237

Таблиця 3.3.22

Питома активність радіонуклідів у ґрунті, Бк·кг⁻¹ (I-півріччя 2020 р.)

Місце відбору	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
Бердянський р-н (пляж, пісок)	<1,73	<6,32	<5,07	156,0
м. Оріхів, вул. Запорізька	<2,61	<9,61	<7,78	254,0
м. Запоріжжя, пляж пісок	<1,10	<4,46	<3,90	69,1
с. В. Білозірка, вул. 8 Марта, 3	6,22	-	-	-
м. Кам'янка-Дніпровська вул. Каховська, 102	5,7	-	-	-
м. Енергодар, вул. Молодіжна, 16	6,8	-	-	-

Таблиця 3.3.23

Питома активність радіонуклідів у ґрунті, Бк·кг⁻¹ (II-півріччя 2020 р.)

Місце відбору	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
м. Вільнянськ, пров. Новий (дит. майданчик)	<3,10	<9,61	38,5	544,0
м. Енергодар, вул. Молодіжна, 16	9,30	23,27	25,76	420,2
Кам'янка-Дніпровський р-н, с. Водяне	32,32	20,73	17,96	374,6

Таблиця 3.3.24

Питома активність радіонуклідів у ґрунті, Бк·кг⁻¹ (2021 р.)

Місце відбору	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
м. Оріхів, вул. Запорізька	30,08	23,82	26,28	427,40
смт. В. Білозірка, вул. 8 Марта, 3	5,89	-	-	-
м. Кам'янка-Дніпровська, вул. Каховська, 102	8,12	-	-	-

Продовження таблиці 3.3.24

м. Енергодар, вул. Молодіжна, 16	10,9	-	-	-
с. Новопетрівка, узбережжя Азовського моря	<1,56	<6,15	<4,26	217,0
м. Енергодар, вул. Молодіжна, 16	<2,87	<10,0	33,3	477,0
с. Нововодяне, вул Кир'яненка, 98	<2,93	<10,2	33,5	463,0
м. Вільнянськ, пров. Новий (дит. майданчик)	<3,09	<10,5	38,4	537,0

Результати досліджень питомої активності радіонуклідів у ґрунті за досліджуваний період свідчать про відсутність перевищення показників радіоактивності ґрунту у порівнянні з середнім багаторічним показником спостереження в період до 1986 року.

Примітка. До 1986 р. радіаційна ситуація на території країни визначалася, головним чином, такими радіонуклідами, як калій-40, радій, торій і лише незначною мірою стронцій-90 і цезій-137. Перші три радіонукліди природного походження зумовлювали основний радіаційний фон, що на більшій частині території коливався в межах 7-14 мкр/год. і лише в окремих регіонах, особливо там, де гранітні породи виходять на поверхню землі, він був у 6-8 разів вищий. Що стосується цезію і стронцію, то їх присутність в ґрунті була зумовлена глобальними опадами в результаті випробування ядерної зброї, їх розподіл на території України був більш-менш рівномірним, а абсолютний вміст – 0,01-0,05 Кі/км². Внаслідок аварії на ЧАЕС в навколишнє середовище було викинуто близько 50 МКі таких небезпечних радіонуклідів як стронцій, цезій, плутоній та йод. В результаті цього активність ґрунтів відносно перших двох радіонуклідів збільшилась у середньому в 1,5-3 рази, а на окремих територіях в 5-10 і більше разів в порівнянні з доаварійним рівнем (Київській, Житомирській і Чернігівській областях). Відносно невеликі території з високим рівнем радіоактивного забруднення виявлено в Вінницькій (Томашпільський, Крижопільський, Тульчинський райони), Хмельницькій (Новоушицький, Дунаєвецький, Кам'янець-Подільський райони), Чернівецькій (Заставнівський район) областях. У процесі видобування та переробки уранових руд сталося забруднення природного середовища в Кіровоградській області. В решті областей радіаційну ситуацію можна вважати задовільною [https://pidru4niki.com/81100/agropromislovist/radionuklidne_zabrudnennya].

3.4. Дослідження питомої активності радіонуклідів в харчових продуктах

Внаслідок вибуху ядерного реактора 4 блоку Чорнобильської АЕС відбувся потужний викид радіоактивних речовин в тропосферу. Згідно розрахунків в навколишнє середовище було викинуто більш як $13 \cdot 10^{18}$ Бк різноманітних радіонуклідів [5]. З часом активність радіонуклідів, що були викинуті, зменшилась і на сьогоднішній день найбільш значущими та небезпечними з радіаційно-гігієнічної точки зору для людини є радіонукліди ^{137}Cs та ^{90}Sr . Саме ці радіонукліди, що надходять в організм людини за харчовими ланцюжками з продуктами харчування, і формують зараз до 80% дозового навантаження населення України Чорнобильського походження.

У зв'язку з цим радіаційно-гігієнічний моніторинг продуктів харчування та оцінка негативних наслідків для населення від опромінення є дуже актуальним. В Запорізькій області радіаційно-гігієнічний моніторинг продуктів харчування здійснюється у відповідності з існуючими нормативними документами.

За результатами моніторингу оцінюються дози опромінення за рахунок харчового раціону, а також розраховуються можливі негативні наслідки від опромінення для населення Запорізької області. За даними Головного управління статистики у Запорізькій області основними продуктами харчування, що складають річний раціон, є м'ясо та м'ясопродукти, молоко та молокопродукти, хліб, риба, картопля, овочі та фрукти. Згідно з планами роботи ДУ «Запорізький обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ України», щорічно складається графік відбору і доставки проб та проведення досліджень. Для цього визначені контрольні пункти в Кам'янка-Дніпровському районі, де розташована Запорізька АЕС та в Запорізькому (контрольному) районі. Номенклатура проб, що відбираються, встановлена виходячи з найбільш вживаних продуктів харчування.

В нашій роботі був проведений аналіз питомої активності радіонуклідів в харчових продуктах за період 2019-2021 рр. (табл. 3.4.25-3.4.29).

Таблиця 3.4.25

Питома активність радіонуклідів в харчових продуктах, Бк·кг⁻¹

(I-півріччя 2019 р.)

Місце відбору, виробник	Найменування проби (зразка)	^{137}Cs		^{90}Sr		Критерій оцінки придатності $B+0,6\Delta B < 1^*$
		Результат	ДР	Результат	ДР	
К-Дніпровський р-н, ПрАТ Племзавод «Степной» цех з переробки молока	молоко	<1,81	100	<2,14	20	0,19
м. Бердянськ, вул. Ревуцького, 2 рибопереробний цех КРП «Маяк»	бичок	<1,68	150	<11,9	35	0,53
Новомиколаївський р-н, Пр АТ «Молокозавод»	молоко	<1,70	100	<2,73	20	0,23
Гуляйпільський р-н, ТОВ «Птахофабрика Зарічна»	м'ясо птиці	<2,06	200	<3,22	20	0,27

Примітка: * – У цій графі наводяться результати після проведення розрахунку за «Допустимими рівнями вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді» (ГН 6.6.1.1-130-2006) п.29.

Таблиця 3.4.26

Питома активність радіонуклідів в харчових продуктах, Бк·кг⁻¹**(II-півріччя 2019 р.)**

Місце відбору, виробник	Найменування проби (зразка)	^{137}Cs		^{90}Sr		Критерій оцінки придатності $B+0,6\Delta B < 1^*$
		Результат	ДР	Результат	ДР	
1	2	3	4	5	6	7
Віднянський р-н, ПП «Пекарня Лавриненко»	хліб	<4,36	20	<2,21	5	0,95
Віднянський р-н, ТОВ «Вільнянський молокозавод»	молоко	<1,92	100	<2,02	20	0,18
К-Дніпровський р-н, ПрАТ Племзавод «Степной»	молоко	<1,97	100	<2,01	20	0,20
К-Дніпровський р-н, с. Дніпровка	капуста білокачанна	<6,58	40,0	<2,91	20	0,37
К-Дніпровський р-н, ПрАТ Племзавод «Степной»	м'ясо	<1,99	200	<3,70	20	0,29

Продовження таблиці 3.4.26

К-Дніпровський р-н, ФОП «Пальметов», с. Дніпровка	хліб 1 гат	<5,41	20	<1,30	5	0,76
К-Дніпровський р-н, ФОП «Пальметов», с. Дніпровка	хліб 2 гат.	<5,93	20	<1,25	5	0,78
К-Дніпровський р-н, с. Водяне, вул. Миру, 280	буряк	<2,51	40	<1,32	20	0,18
К-Дніпровський р-н, с. Водяне, вул. Миру, 280	капуста	<3,37	40	<2,82	20	0,32
Каховське водосховище	риба лящ	<2,14	150	<12,1	35	0,55
Каховське водосховище	риба карась	<2,63	150	<12,1	35	0,55
Віднянський р-н, ФГ «Пунда», с. Матвіїка	буряк	<2,38	40	<2,26	20	0,25
К-Дніпровський р-н, с. В. Знам'янка	молоко	<5,23	100,0	<2,25	20	0,53
К-Дніпровський р-н, с. В. Знам'янка	помідори	<6,74	40,0	<2,91	20	0,37
К-Дніпровський р-н, с. В. Знам'янка	перець солодкий	<8,1	40,0	<3,5	20	0,45
м. Кам'янка- Дніпровська	морква	<8,01	40,0	<3,5	20	0,38
К-Дніпровський р-н, с. Дніпровка	картопля	<10,5	60,0	<4,71	20	0,49

Таблиця 3.4.27

**Питома активність радіонуклідів в харчових продуктах, Бк·кг⁻¹
(I-півріччя 2020 р.)**

Місце відбору, виробник	Найменування проби (зразка)	¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr		Критерій оцінки придатності В+0,6ΔВ<1* 1*
		Результат	ДР	Результат	ДР	
1	2	3	4	5	6	7
К-Дніпровський р-н, ПрАТ Племзавод «Степной» цех з переробки молока	молоко	<1,83	100	<1,78	20	0,16
ТМ «Славутич» м. Енергодар, вул. Казацька, 10	картопля	<8,72	60,0	<3,77	20,0	0,4

Продовження таблиці 3.4.27

м. Бердянськ, рибопере-робний цех РКП «Маяк», вул. Набережна/Мічуріна 17/119а	риба бичок	<1,95	150	<11,5	35	0,52
ТМ «Славутич» м. Енергодар, вул. Казацька,10	капуста білок	<6,73	40,0	<2,9	20,0	0,37
ТМ «Славутич» м. Енергодар, вул. Казацька,10	морква	<8,28	40,0	<3,8	20,0	0,47
ТМ «Славутич» м. Енергодар, вул. Казацька,10	буряк	<7,84	40,0	<3,44	20,0	0,44
с. Дніпровка, вул. Кірова, 121	цибуля	<7,1	40,0	<3,1	20,0	0,39
с. Водяне, пров. Урожайний, 37	буряк	<7,6	40,0	<3,3	20,0	0,42
м. Кам'янка-Дніпровська, вул. Центральна, 24	огірок	<3,8	40,0	<1,7	20,0	0,21

Таблиця 3.4.28

Питома активність радіонуклідів в харчових продуктах, Бк·кг⁻¹
(II-півріччя 2020 р.)

Місце відбору, виробник	Найменування проби (зразка)	¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr		Критерій оцінки придатності В*
		Результат	ДР	Результат	ДР	
1	2	3	4	5	6	7
Віднянський р-н, ПП «Пекарня Лавриненко»	хліб	<4,35	20	<1,48	5	0,74
Віднянський р-н, ТОВ«Вільнянський молокозавод»	молоко	<2,02	100	<5,28	20	0,43
К-Дніпровський р-н, ПрАТ Племзавод «Степной»	молоко	<2,31	100	<5,27	20	0,43
К-Дніпровський р-н, ПрАТ Племзавод «Степной»	м'ясо	<1,96	200	<3,67	20	0,29
К-Дніпровський р-н, ФОП «Пальметов», с. Дніпровка	хліб 2 гат.	<5,13	20	<1,98	5	0,94
Віднянський р-н, с. В. Андріївка	картопля	<2,73	40	<6,71	20,0	0,57

Продовження таблиці 3.4.28

К-Дніпровський р-н, ФОП «Гурбанов», с. Іванівка	хліб 1 гат.	<4,71	20	<1,86	5	0,87
К-Дніпровський р-н, ПрАТ Племзавод «Степной»	молоко	<7,08	100,0	<3,07	20,0	0,27
К-Дніпровський р-н, с. Водяне пров. Гвардійський,88	помідори	<6,29	40,0	<2,73	20,0	0,35
К-Дніпровський р-н, с. Водяне пров. Гвардійський,88	перець солодкий	<7,34	40,0	<3,18	20,0	0,41
К-Дніпровський р-н, с. Водяне пров. Урожайний, 37	морква	<7,81	40,0	<2,86	20,0	0,40
К-Дніпровський р-н, с. Дніпровка	картопля	<7,38	40,0	<3,28	20,0	0,34
К-Дніпровський р-н, с. Водяне пров. Урожайний, 37	капуста	<6,75	40,0	<3,09	20,0	0,38
К-Дніпровський р-н, ПрАТ Племзавод«Степной»	молоко	<7,86	100,0	<3,41	20,0	0,30

Таблиця 3.4.29

Питома активність радіонуклідів в харчових продуктах, Бк·кг⁻¹ (2021 р.)

Місце відбору, виробник	Найменування проби (зразка)	¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr		Показник відповід- ності В*
		Результат	ДР	Результат	ДР	
1	2	3	4	5	6	7
Вільнянський р-н, ТОВ «Вільнянський молокозавод»	молоко	<1,85	100	<2,54	20	0,22
Кам'янка-Дніпровський, ПрАТ «Племзавод» «Степной» цех з переробки молока	молоко	<3,44	100	<3,36	20	0,30
Смт. Новомиколаївка, ПРАТ Новомиколаїв ський молокозавод	молоко	<1,69	100	<2,41	20	0,21
м. Вільнянськ, ТОВ «Вільнянський хлібозавод»	хліб	<3,21	20	<2,10	5	0,74
с. В. Знам'янка ФОП Яшніков О.І.	хліб вищ. гат	<3,13	20	<2,05	5	0,82

Продовження таблиці 3.4.29

Смт. Новомиколаївка, ПРАТ Новомиколаївський молокозавод	молоко	<1,69	100	<2,41	20	0,21
м. Вільнянськ, ТОВ «Вільнянський хлібозавод»	хліб	<3,21	20	<2,10	5	0,74
с. В. Знам'янка ФОП Яшніков О.І.	хліб вищ. гат	<3,13	20	<2,05	5	0,82
с. В. Знам'янка ФОП Яшніков О.І.	хліб 1 гат.	<2,75	20	<1,94	5	0,77
с. В. Знам'янка присадибне господарство	морква	<2,41	40	<10,9	20	0,91
с. В. Знам'янка присадибне господарство	капуста	<3,25	40	<3,55	20	0,37
Запорізький р-н, с. Матвіївка ПП Пунда Н.П.	картопля	<2,35	60	<6,64	20	0,56
м. Кам'янка-Дніпровська, вул. Зелена, 86	огірки	<3,94	40	<1,74	20	0,22
К-Дніпровський р-н, ПрАТ Племзавод «Степной» цех з переробки молока	молоко	<7,26	100	<3,35	20	0,29
с. Знам'янка, вул. Скіфська, 96	перець	<7,14	40	<3,16	20	0,40
с. Знам'янка, вул. Скіфська, 96	помідори	<10,6	40	<4,7	20	0,59
с. Знам'янка, вул. Скіфська, 96	буряк	<4,69	40	<2,16	20	0,27
с. Знам'янка, вул. Скіфська, 96	морква	<6,85	40	<3,29	20	0,40
с. Водяне, пров. Урожайний, 37	картопля	<6,32	40	<3,04	20	0,31
с. Водяне, пров. Урожайний, 37	цибуля	<7,0	40	<3,36	20	0,41
с. Знамянка, вул. Скіфська, 96	капуста	<5,12	40	<2,37	20	0,29
Пр АТ «Степной»	молоко	<7,29	100	<3,29	20	0,29

Результати показали, що значення питомої активності радіонуклідів (^{137}Cs , ^{90}Sr) в досліджуваних харчових продуктах (див. табл. 3.4.25-3.4.29) не перевищують допустимі рівні згідно нормативного документу ГН.6.6.1.1-130-2006 «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs , ^{90}Sr у продуктах харчування».

3.5. Дослідження питомої активності радіонуклідів у питній воді з підземних та поверхневих джерел водопостачання

3.5.1. Аналіз вимірювань питомої активності радіонуклідів у питній воді з підземних джерел водопостачання

З метою оцінки опромінення населення Запорізької області від природних радіонуклідів у питній воді з підземних джерел водопостачання було проведено аналіз природної радіоактивності питної води.

Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97) п. 8.6.4. встановлені гігієнічні нормативи на вміст радону у воді джерел питного і господарського водопостачання. Рівень дії для ^{222}Rn в джерелах господарсько-питного водопостачання складає $100 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$ [5].

Наводимо дані питомої активності природних радіонуклідів у питній воді з підземних джерел водопостачання Запорізької області за період 2019-2021 рр. (табл. 3.5.1.30– 3.5.1.34).

Таблиця 3.5.1.30

Питома активність радіонуклідів у питній воді з підземних джерел водопостачання $\text{Бк}\cdot\text{дм}^{-3}$ (I-півріччя 2019 р.)

Місце відбору	$\Sigma \alpha\text{-акт.}$	$\Sigma \beta\text{-акт.}$	^{222}Rn
м. Мелітополь	0,13	0,05	11,2
Пологівський р-н	0,1	0,2	7,02
Токмацький р-н	0,02	0,14	15,6
м. Василівка	0,17	0,14	9,7
м. Оріхів	0,11	0,08	30,7
Бердянський р-н	0,15	0,22	6,28
Бердянський р-н	0,21	0,15	5,7

В результаті проведеного аналізу показників питомої активності альфа- і бета-активностей за I-півріччя 2019 р (див. табл. 3.5.1.30) виявлено перевищення вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (норматив $\Sigma \alpha\text{-акт.} < 0,1 \text{ Бк}/\text{дм}^3$, норматив $\Sigma \beta\text{-акт.} < 1,0 \text{ Бк}/\text{дм}^3$) в 5-х пробах за моніторинговим дослідженням – м. Мелітополь,

м. Василівка, м. Оріхів, Бердянський р-н). Щодо питомої активності радону-222 в досліджуваних пробах перевищення гігієнічного нормативу ($^{222}\text{Rn} = <100 \text{ Бк/дм}^3$) не зафіксовано.

Таблиця 3.5.1.31

**Питома активність радіонуклідів у питній воді з підземних джерел
водопостачання Бк·дм⁻³ (II-півріччя 2019 р.)**

Місце відбору	$\Sigma \alpha$ -акт.	$\Sigma \beta$ -акт.	^{222}Rn
м. Кам'янка-Дніпровська	0,07	0,07	3,99
Вільнянський р-н	0,52	<0,2	84,2
Якимівський р-н	0,16	1,05	1,25
м. Енергодар	0,07	0,05	4,08
м. Приморськ	0,1	<0,2	16,7
Приазовський р-н	0,1	<0,2	6,52
Мелітопольський р-н	0,08	0,28	4,7
Веселівський р-н	0,08	0,04	3,19

В результаті проведеного аналізу показників питомої активності альфа- і бета-активностей за II-півріччя 2019 р (див. табл. 3.5.1.31) виявлено перевищення вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (норматив $\Sigma \alpha$ -акт. <0,1 Бк/дм³, норматив $\Sigma \beta$ -акт. <1,0 Бк/дм³) в 2-х пробах за моніторинговим дослідженням – Вільнянський р-н, Якимівський р-н). Щодо питомої активності радону-222 в досліджуваних пробах перевищення гігієнічного нормативу ($^{222}\text{Rn} = <100 \text{ Бк/дм}^3$) не зафіксовано.

Таблиця 3.5.1.32

**Питома активність радіонуклідів у питній воді з підземних джерел
водопостачання Бк·дм⁻³ (I-півріччя 2020 р.)**

Місце відбору	$\Sigma \alpha$ -акт.	$\Sigma \beta$ -акт.	^{222}Rn	^{137}Cs	^{90}Sr
1	2	3	4	5	6
Бердянський р-н	0,16	0,13	3,40	-	-
Бердянський р-н	0,27	0,09	6,10	-	-
Пологівський р-н	0,09	0,03	13,2	-	-
Василівський р-н	0,01	0,08	5,30	-	-
Оріхівський р-н	0,04	0,05	1,30	-	-
Токмацький р-н	0,15	0,07	4,90	-	-

Продовження таблиці 3.5.1.32

1	2	3	4	5	6
К-Дніпровський р-н	-	-	-	<0,78	<0,65
К-Дніпровський р-н	-	-	-	<0,75	<0,62

В результаті проведеного аналізу показників питомої активності альфа- і бета-активностей за I-півріччя 2020 р (див. табл. 3.5.1.32) виявлено перевищення вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (норматив $\Sigma \alpha$ -акт. <0,1 Бк/дм³, норматив $\Sigma \beta$ -акт. <1,0 Бк/дм³) в 3-х пробах за моніторинговим дослідженням – Бердянський р-н, Токмацький р-н). Щодо питомої активності радону-222 в досліджуваних пробах перевищення гігієнічного нормативу ($^{222}\text{Rn} = <100 \text{ Бк/дм}^3$) не зафіксовано. Значення цезію-137 та стронцію-90 не перевищує гігієнічний норматив (^{222}Cs та $^{90}\text{Sr} = <2 \text{ Бк/дм}^3$).

Таблиця 3.5.1.33

**Питома активність радіонуклідів у питній воді з підземних джерел
водопостачання Бк·дм⁻³ (II-півріччя 2020 р.)**

Місце відбору	$\Sigma \alpha$ -акт.	$\Sigma \beta$ -акт.	^{222}Rn
Вільнянський р-н	0,04	0,05	36,9
Якимівський р-н	0,11	0,12	0,4
Якимівський р-н	0,24	0,21	3,5
м. Енергодар	0,05	0,20	4,1
К-Дніпровський р-н	0,14	0,22	2,1
Мелітопольський р-н	0,06	0,10	6,4
Веселівський р-н	0,06	0,48	0,7

В результаті проведеного аналізу показників питомої активності альфа- і бета-активностей за II-півріччя 2020 р (див. табл. 3.5.1.33) виявлено перевищення вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (норматив $\Sigma \alpha$ -акт. <0,1 Бк/дм³, норматив $\Sigma \beta$ -акт. <1,0 Бк/дм³) в 3-х пробах за моніторинговим дослідженням – К.-Дніпровський р-н, Якимівський р-н). Щодо питомої активності радону-222 в досліджуваних пробах перевищення гігієнічного нормативу ($^{222}\text{Rn} = <100 \text{ Бк/дм}^3$) не зафіксовано.

Таблиця 3.5.1.34

**Питома активність радіонуклідів у питній воді з підземних джерел
водопостачання Бк·дм⁻³ (2021 р.)**

Місце відбору	Σ α-акт.	Σ β-акт.	²²² Rn
м. Пологи	0,03	0,07	8,33
м. Василівка	0,05	0,04	4,08
м. Молочанськ	0,05	0,07	4,09
м. Орхів	0,08	0,09	1,85
с. Шовкове, Бердянський р-н	0,3	0,42	-
с. Роза Бердянський р-н	-	-	6,89
м. Бердянськ	0,07	0,08	0,4
м. Енергодар	0,05	0,04	1,78
с. Нововодяне К-Дніпровський р-н	0,12	0,06	<1,93
с. Вільноандріївка Вільнянський р-н	0,07	0,04	39,25
м. Приморськ	0,16	0,1	19,4
с. Орлово Мелітопольський р-н	0,08	0,08	-
с. Орлово Мелітопольський р-н	0,005	0,03	2,32
с. Н. Данилівка Азовський р-н	0,06	0,05	2,12
с. Н. Данилівка Азовський р-н	0,05	0,03	-

В результаті проведеного аналізу показників питомої активності альфа- і бета-активностей за 2021 р (див. табл. 3.5.1.34) виявлено перевищення вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (норматив Σ α-акт. <0,1 Бк/дм³, норматив Σ β-акт. <1,0 Бк/дм³) в 3-х пробах за моніторинговим дослідженням – К.-Дніпровський р-н, Бердянський р-н, м. Приморськ). Щодо питомої активності радону-222 в досліджуваних пробах перевищення гігієнічного нормативу (²²²Rn = <100 Бк/дм³) не зафіксовано.

3.5.2. Аналіз вимірювань питомої активності радіонуклідів у питній воді з поверхневих джерел водопостачання

З метою оцінки опромінення населення Запорізької області від природних радіонуклідів у питній воді з поверхневих джерел водопостачання було проведено аналіз природної радіоактивності питної води.

Результати показали, що за досліджуваний період 2019-2021 рр. не було зафіксовано перевищень гігієнічних нормативів показників питомої сумарної α - і β активності згідно нормативного документу ГН.6.6.1.1-130-2006 «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs , ^{90}Sr у питній воді» (див. табл. 3.5.2.35).

Таблиця 3.5.2.35

Питома активність радіонуклідів у питній воді з поверхневих джерел водопостачання Бк·дм⁻³

Роки	Місце відбору											
	ДУ «Запорізький обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ України» радіологічна лабораторія											
	Показники радіоактивності											
	$\Sigma \alpha$ -акт.	$\Sigma \beta$ -акт.	$\Sigma \alpha$ -акт.	$\Sigma \beta$ -акт.	$\Sigma \alpha$ -акт.	$\Sigma \beta$ -акт.	$\Sigma \alpha$ -акт.	$\Sigma \beta$ -акт.	$\Sigma \alpha$ -акт.	$\Sigma \beta$ -акт.	$\Sigma \alpha$ -акт.	$\Sigma \beta$ -акт.
2019 рік												
(I півріччя)	0,02	0,07	0,06	0,08	0,05	0,07	0,02	0,08	0,08	0,05	0,01	0,02
(II півріччя)	0,04	0,1	0,05	0,11	0,1	<0,2	0,05	0,02	0,06	0,05	<0,2	0,05
2020 рік												
(I півріччя)	0,05	0,02	0,08	0,05	0,05	0,08	0,02	0,02	0,05	0,03	0,05	0,05
(II півріччя)	0,03	0,02	0,02	0,07	0,04	0,04	0,05	0,02	0,05	0,02	0,07	0,05
2021 рік												
рік	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,05	0,04	0,06	0,07	0,04	0,01	0,03

3.6. Дослідження середньорічної еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону-222 в повітрі житлових та громадських будівлях

У 2005 році Інститутом гігієни та медичної екології АМН України спільно з Запорізькою обласною санітарно-епідеміологічною станцією проведені дослідження рівнів опромінення населення Запорізької області радоном-222 в повітрі житлових приміщень [7].

Дослідження показали, що частотний розподіл ЕРОА радону-222 в повітрі носить логнормальний характер, тому в таблиці приведено середньгеометричне значення активностей для кожного району та результати аналізу відповідності рівнів радону існуючим нормативам – відсоток зафіксованого перевищення нормативу для існуючих будівель – $100 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ і нормативу для новобудов – $50 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ згідно з НРБУ-97.

Дослідженнями встановлено, що основним дозоформуєчим джерелом опромінення населення на території Запорізької області є радон в повітрі житлових приміщень.

В зв'язку з актуальністю радонової небезпеки, ми продовжили дослідження щодо вимірів еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону-222 в громадських будівлях за період 2019-2021 рр. (табл. 3.6.36-3.6.41).

Таблиця 3.6.36

Середньорічна ЕРОА ^{222}Rn в громадських будівлях, $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ (I-півріччя 2019 р.)

№ з/п	Населений пункт Назва об'єкту	Кількість вимірювань і значення ЕРОА ^{222}Rn		
		Тип матеріалу будівлі (цегла)		
		кількість вимірів	середнє	максимальне
1	2	3	4	5
1	м. Запоріжжя ТОВ «ЗЕВС»	2	9,6	11,2
2	м. Бердянськ ФОП Нетяга Г.П., пункт забору біоматеріалу	2	<8	<8
3	м. Бердянськ ФОП Нетяга Г.П., пункт забору біоматеріалу	1	<8	<8

Продовження таблиці 3.6.36

1	2	3	4	5
4	м. Бердянськ ТОВ «Склопастик»	2	13,0	15,6
5	м. Бердянськ ЗДО №2 Зіронька	4	13,4	14,8
6	м. Бердянськ ДНЗ «БЦПТО», мед.каб	1	14,4	14,4
7	м. Приморськ ФОП Нетяга Г.П., пункт забору біоматеріалу	1	<8	<8
8	Запор. Обл., Приморський р-н с. Преслав КУ «Преславський ПМІ» ЗОР	16	11,1	14,0
9	м. Мелітополь ФОП Сеітьяга мед.каб	2	<8	<8
10	м. Мелітополь КНП Мелітопольський пологовий будинок ММРРЗО	13	<8	<8
11	м. Мелітополь ПП «Автошкола Форвард»	2	<8	<8
Разом		46	9,9	15,6

Таблиця 3.6.37

**Середньорічна ЕРОА ^{222}Rn в громадських будівлях, Бк·м⁻³
(II-півріччя 2019 р.)**

№ з/п	Населений пункт Назва об'єкту	Кількість вимірювань і значення ЕРОА ^{222}Rn		
		Тип матеріалу будівлі (цегла)		
		кількість вимірів	середнє	максимальне
1	м. Запоріжжя магазин ТОВ «Малінаускас»	2	28,0	16,0
2	м. Мелітополь ФОП Ходус Р.В. Стоматологія	1	10,4	10,4
3	м. Мелітополь КМП «ЦПМСД» №2 ММРЗО	2	<8	<8
4	м. Бердянськ ТОВ «Склопастик»	3	15,8	16,0
Разом		8	15,6	16,0

Таблиця 3.6.38

**Середньорічна ЕРОА ²²²Rn в житлових та громадських будівлях, Бк·м⁻³
(I-півріччя 2020 р.)**

№ з/п	Населений пункт Назва об'єкту	Кількість вимірювань і значення ЕРОА ²²² Rn		
		Тип матеріалу будівлі (цегла)		
		кількість вимірів	середнє	максимальне
1	м. Мелітополь ФОП Костюкович, стоматкабінет	1	<8	<8
Разом		1	<8	<8

Таблиця 3.6.39

**Середньорічна ЕРОА ²²²Rn в громадських будівлях, Бк·м⁻³
(II-півріччя 2020 р.)**

№ з/п	Населений пункт Назва об'єкту	Кількість вимірювань і значення ЕРОА ²²² Rn		
		Тип матеріалу будівлі (цегла)		
		кількість вимірів	середнє	максимальне
1	м. Мелітополь ФОП Щербаков медкабінет	1	8,4	8,4
Разом		1	8,4	8,4

Таблиця 3.6.40

Середньорічна ЕРОА ²²²Rn в громадських будівлях, Бк·м⁻³ (2021 р.)

№ з/п	Населений пункт Назва об'єкту	Кількість вимірювань і значення ЕРОА ²²² Rn		
		Тип матеріалу будівлі (цегла)		
		к-сть вимірів	середнє	максимальне
1	2	3	4	5
1	м. Запоріжжя приватний будинок	3	31,5	63,2
2	с. Трояни дитячий оздоровчий заклад	1	<8	<8
3	м. Мелітополь ФПО Зварич мед.кабінет	5	<8	<8
4	м. Мелітополь ФПО Шарко С.В. маніпул. кабінет	1	10,4	10,4

5	м. Мелітополь ЗОШ №13	2	<8	<8
6	м. Мелітополь ЗОШ №23	2	<8	<8

Продовження таблиці 3.6.40

1	2	3	4	5
7	м. Мелітополь ФОП Себастьянська С.В. стоматкабінет	1	<0,8	<0,8
8	м. Мелітополь ФОП Антипенкова І.В. стоматкабінет	1	<0,8	<0,8
9	м. Мелітополь КНП Інфекційна лікарня ММРЗО	1	<0,8	<0,8
10	м. Мелітополь КНП «Мелітопольський пологовий будинок» ММРЗО	1	8,4	8,4
Разом		18	8,5	63,2

Таблиця 3.6.41

Середньорічна ЕРОА ^{222}Rn в житлових та громадських будівлях, Бк·м⁻³

Роки	Кількість вимірювань і значення ЕРОА ^{222}Rn		
	Тип матеріалу будівлі (цегла)		
	кількість вимірів	середнє	максимальне
2019	54	12,8	16,0
2020	2	8,2	8,4
2021	18	8,5	63,2
Разом	74	9,8	63,2

Дослідженнями встановлено, що значення середньорічної ЕРОА ^{222}Rn в житлових та громадських будівлях за період 2019-2021 рр. не перевищує існуючий норматив згідно з НРБУ-97. Ймовірно, це пояснюється впровадженням на території Запорізької області практичних протирадонових заходів [23].

Висновки до розділу 3

1. Встановлено, що усереднена величина потужності поглиненої дози гамма-випромінювання в повітрі приміщень складає у середньому 11,1 мкР·год⁻¹, що менше вимірної величини на відкритій місцевості - 13,1 мкР·год⁻¹ за 2019-2021 рр.

2. Визначено, що значення ефективної питомої активності природних радіонуклідів в будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині Запорізьких кар'єрів за 2019-2021 рр. не перевищує допустимий норматив $370 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$.

3. Результати досліджень питомої активності радіонуклідів у ґрунті показали відсутність перевищення показників у порівнянні з середнім багаторічним показником спостереження доаварійного періоду на ЧАЕС.

4. Визначено, що значення питомої активності радіонуклідів (^{137}Cs , ^{90}Sr) в харчових продуктах не перевищують допустимі рівні згідно існуючих нормативів.

5. Аналіз значень питомої альфа- і бета-активності у питній воді з підземних джерел водопостачання виявив ряд перевищень згідно вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» в 2-х пробах (Вільнянський р-н, Якимівський р-н).

Встановлено, що у питній воді з поверхневих джерел водопостачання не було зафіксовано перевищень існуючих гігієнічних нормативів.

6. Визначено, що значення середньорічної ЕРОА радону-222 в будівлях не перевищує існуючий норматив згідно НРБУ-97.

ЗАХОДИ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ ВІД ПРИРОДНИХ ДЖЕРЕЛ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Усвідомлення першорядного радіологічного значення радону призвело до розробки і реалізації практично у всіх розвинутих країнах широкомасштабних програм щодо оцінки рівнів опромінення населення, розробки та здійснення заходів щодо його зниження (Швеція, США та ін.). Сьогодні ведеться детальне вивчення радонової ситуації на будівельних майданчиках перед початком будівництва. Скрупульозно проводиться аналіз будівельних матеріалів та мінеральної сировини на вміст радіонуклідів урано-торієвого ряду. Створюються детальні карти радононебезпечності територій з високою щільністю населення.

В Україні також давно назріла життєво важлива необхідність в створенні спеціальних програм (науково-технічних і соціальних), на основі яких треба реалізовувати наступні заходи:

1. Вхідного і вихідного радіаційного контролю.
2. Ефективних заходів щодо зниження рівня іонізуючих випромінювань на всіх технологічних етапах.
3. Надійного захисту людей від радоноторонової небезпеки шляхом активного провітрювання, вживання колективних та індивідуальних засобів захисту.

Особливого значення набуває організація радіаційно-гігієнічного моніторингу в кар'єрах і на будівництві. Для отримання радіаційно-чистих і радіаційно-стійких матеріалів слід поліпшити існуючі технології з видобутку та переробки мінералів і широко застосовувати принципово нові технології. Управлінню радіаційною якістю будівельної продукції необхідно забезпечити науково обґрунтований вміст окремих компонентів в будівельні конструкції.

Одним із основних кроків на шляху вирішення радонової проблеми є створення системи оперативного контролю, аналізу, оцінки і прогнозування радіаційної обстановки в регіоні.

Заходи щодо зниження вмісту радону в повітрі приміщень можна поділити на три напрямки:

1. Використання будівельних матеріалів з низькою питомою активністю природних радіонуклідів.
2. Захист від проникнення в повітря приміщень радону з ґрунту та будівельних матеріалів.
3. Посилена вентиляція повітря в приміщеннях та під підлогою.

Так, як рівні концентрації радону в закритих приміщеннях переважно залежать від можливостей потрапляння його з підстилаючих ґрунтів, необхідно використовувати будівельні та ізоляційні матеріали з низькою проникністю для радону.

Для запобігання потоку радон з ґрунту рекомендується при закладенні фундаменту застосовувати алюмінійований бітум, волок та інші ізолятори, а також використовувати спеціально розроблені вентиляційні системи.

Реалізація цих заходів з обов'язковою наступною оцінкою ефективності окремих стратегій, повинна сприяти зниженню індивідуальних та колективних ризиків, пов'язаних з опроміненням населення від радону та його дочірніх продуктів.

Радон належить до газів, які добре розчиняються у воді, тому підземні води легко насичуються радоном. З підвищенням атмосферного тиску вміст радону в природній воді пропорційно збільшується.

Радон потрапляє у воду з ґрунту, а також гранітів, базальтів та піску з якими стикаються водоносні шари. Тому концентрація радону у водах залежить від концентрації материнських елементів в гірських породах, що омиваються нею, коефіцієнта еманування, пористості або тріщиноватості гірських порід і швидкості руху води.

З точки зору геології 40% території України є радоннебезпечними. Усереднена величина об'ємної активності радону в підземних водах для регіонів, розташованих в зоні залягання Українського кристалічного масиву дорівнює $261 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$, поза цим масивом усереднена ОА радону дорівнює $37 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$.

За даними Запорізького обласного центру контролю та профілактики хвороб у Запорізькій області вміст радону в підземних джерелах питного водопостачання в місцях залягання Українського кристалічного масиву складає $48,2 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$, в інших районах 11-16 $\text{Бк}\cdot\text{л}^{-1}$. Доза опромінення, що обумовлена радоном у воді, створюється за рахунок надходження води через органи травлення, і частково за рахунок надходження через органи дихання продуктів розпаду радону.

Способом зниження концентрації радону у питній воді є кип'ятіння, оскільки при кип'ятінні води або приготуванні їжі значна кількість радону випаровується. Але найбільш ефективний спосіб пониження концентрації радону у питній воді – це використання фільтрів на основі активованого вугілля.

Один з найбільш доступних і ефективних методів зниження вмісту радону у воді в процесі водопідготовки на міських очисних спорудах є *аерація* – бульбашки повітря пропускаються через товщу води, насичуються радоном і видаляються знову в повітря. Тому для споживачів міської водопровідної мережі проблеми радону не існує. Якщо ж вживається вода з підземних джерел водопостачання, то потрібно пам'ятати про те, що деякі фільтри на основі активованого вугілля (залежно від їх якості) дуже ефективні і здатні видалити до 99% радону.

ВИСНОВКИ

В роботі були проведені дослідження щодо оцінки рівнів опромінення населення Запорізької області за рахунок природних джерел та запропоновані заходи щодо зменшення опромінення населення від природних джерел випромінювання:

1. Для оцінки рівнів опромінення населення Запорізької області, що отримуються за рахунок природних джерел, нами були проаналізовані існуючі рівні гамма-фону у приміщеннях житлових будівель та на відкритій місцевості за період 2019-2021 рр. Аналіз рівнів гамма-фону в приміщеннях будинків із цегли показав, що усереднена величина потужності поглиненої дози гамма-випромінювання в повітрі приміщень менше вимірної величини на відкритій місцевості і складає у середньому $10,5 \text{ мкР}\cdot\text{год}^{-1}$; із деревини – $12,3 \text{ мкР}\cdot\text{год}^{-1}$; із залізобетону – $10,6 \text{ мкР}\cdot\text{год}^{-1}$. Встановлено, що усереднена величина потужності поглиненої дози гамма-випромінювання в повітрі приміщень складає у середньому $11,1 \text{ мкР}\cdot\text{год}^{-1}$, що менше вимірної величини на відкритій місцевості – $13,1 \text{ мкР}\cdot\text{год}^{-1}$ за 2019-2021 рр.

2. Проведено дослідження щодо значення питомої активності природних радіонуклідів у будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині. Визначено, що значення ефективної питомої активності природних радіонуклідів в будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині Запорізьких кар'єрів за 2019-2021 рр. не перевищує допустимий норматив $370 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$, (що дорівнює середній активності земної кори), яка створює дозу опромінення близько $1,0 \text{ мЗв}\cdot\text{рік}^{-1}$ на рівні природного гамма-фону. Ця активність і була прийнята як межа використання будматеріалу в житловому будівництві без обмежень, згідно НРБУ-97.

3. Проаналізовано значення питомої активності радіонуклідів у ґрунті за період 2019-2021 рр. Результати досліджень свідчать про відсутність перевищення показників радіоактивності ґрунту у порівнянні з середнім багаторічним показником спостереження до аварійного періоду на ЧАЕС.

4. Проаналізовано вміст природних радіонуклідів та значення питомої активності в харчових продуктах. Визначено, що значення питомої активності радіонуклідів (^{137}Cs , ^{90}Sr) в харчових продуктах не перевищують допустимі рівні згідно існуючих нормативів.

5. Досліджено питому активність радіонуклідів у питній воді з підземних та поверхневих джерел водопостачання. Аналіз значень питомої альфа- і бета-активності у питній воді з підземних джерел водопостачання виявив ряд перевищень згідно вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» в 2-х пробах (Вільнянський р-н, Якимівський р-н). Встановлено, що у питній воді з поверхневих джерел водопостачання не було зафіксовано перевищень існуючих гігієнічних нормативів.

6. Проведено аналіз вимірювань середньорічної еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону-222 в житлових та громадських будівлях. Визначено, що значення середньорічної ЕРОА радону-222 в будівлях не перевищує існуючий норматив згідно НРБУ-97.

7. Запропоновано заходи щодо зменшення опромінення населення від природних джерел випромінювання.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Матеріали вивчення радіоекологічного стану Запорізькій області та його вплив на розвиток негативних наслідків опромінення населення від природних джерел доцільно використовувати для здійснення радіаційно-гігієнічного моніторингу об'єктів довкілля.

2. Впровадити в практику радіаційно-гігієнічного контролю об'єктів навколишнього середовища розроблені Заходи щодо зменшення опромінення населення від природних джерел випромінювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ

1. Костенецький М.І. Оптимізація радіаційно-гігієнічного моніторингу на сучасному етапі. / М.І. Костенецький, Л.Т. Лемешко, Т.О. Павленко, А.І. Севальнев, А.В. Куцак // Радіологічні та медичні наслідки Чорнобильської катастрофи - тридцять років по тому: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., [Київ], 18-19 квітн. 2016 р. / Націон. наук. центр радіац. медиц НАМН України. – Київ, 2016. – С. 223.
2. Костенецький М.І. Оптимізація радіаційно-гігієнічного моніторингу на сучасному етапі. / М.І. Костенецький, А.І. Севальнев, А.В. Куцак // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України: матеріали наук.-практ. конф. [Київ], 23-24 травн. 2012 р. / Ін-т гігієни та мед. екол. ім. О.М. Марзєєва НАМНУ – Київ, 2012. – С. 50–51.
3. Костенецький М.І. Дози опромінення населення Запорізької області за результатами радіологічних моніторингових досліджень. / М.І. Костенецький, Л.Т. Лемешко, М.В. Борцова, І.Л. Трусевіч. // Моніторинг, аналіз та оцінка ризиків стану здоров'я населення Запорізької області в умовах становлення служби громадського здоров'я Запоріжжя: матеріали наук.-практ. конф. [Запоріжжя], 7-8 жовт. 2012 р. / Запорізька обл сан-епід. станц. – Запоріжжя, 2012. – С. 2.
4. ICRP Publication 39. Principles for Limiting Exposure of the Public to Natural Sources of Radiation. – Vienna : Pergamon, 1986. – 15 p. - (/Annals of the ICRP. – 1986. – Vol. 14, N 1).
5. ДГН 6.6.1. 6.5.00198. (НРБУ-97). Норми радіаційної безпеки України. – [Чинний від 2000-07.12] — Вид. офіц. — Київ: Комітет з питань гігієнічного регламентування МОЗ України, 2000 – 135 с.
6. Фризюк М. А. Оптимізація протирадіаційного захисту населення як один з основних принципів радіаційної безпеки (огляд) / М. А. Фризюк / Гігієна населених місць : зб. наук. статей. – 2012. – Вип. 60. – С. 213-218.

7. Павленко Т. О. Радіаційно-гігієнічна оцінка доз опромінення населення України від техногенно-підсилених джерел природного походження : дис. ... докт. біол. наук : 14.02.01 / Павленко Тетяна Олександрівна. – Київ, 2010. – 253 с.

8. Костенецький М. І. Радон навколо нас: проблема та шляхи її вирішення: монографія. / М.І. Костенецький, А.І. Севальнєв, А.В. Куцак.// – Запоріжжя: Вид-во ЗДМУ, 2019. – 162 с.

9. Куцак А.В. Вивчення рівнів і структури доз опромінення населення за рахунок природних джерел випромінювання. / А.В. Куцак, А.І. Севальнєв, М.І. Костенецький. // Міжнародний медичний журнал. – 2017. – № 3. – С. 88-97.

10. Куцак А.В. Вивчення дозового навантаження населення за рахунок природних джерел випромінювання. / А.В. Куцак, А.І. Севальнєв // Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики: / матеріали Всеукр. наук.-практ. конф молодих вчених та студентів з міжн. уч. [Запоріжжя], 15-16 травн. 2017 р. / Запорізький держ. мед. ун-т – Запоріжжя, 2017. – С. 26–27.

11. Kutsak A. The modern state of problem of providing radioprotectoin of Ukraine's populatoin from natural release sources [Electronic resource] / A. Kutsak // Problems of radiation medicine and radiobiology. – 2018 – Vol. 23. P. 49-60. Mode of access: http://radiationproblems.org.ua/23_2018/NRCRM_2018_Paper_4.pdf (date of access: 10.06.2019) – Title from screen.

12. Куцак А.В. Дослідження вмісту цезію-137 та стронцію-90 у продуктах харчування з оцінкою доз опромінення населення і можливих наслідків для здоров'я. / А.В. Куцак, А.І. Севальнєв, М.І. Костенецький. // Вісник проблем біології і медицини. – 2017. Вип.1 (135) – С. 75–78.

13. Sevalnev A. Problems of radio safety of the population of the Zaporizhzhia region, which relates to exposure to basic sources by review of the literature [Electronic resource] / A. Sevalnev, A. Kutsak, I. Sokolovska. // Problems of radiation medicine and radiobiology. – 2019. – Vol. 24. P. 53-64. – Mode of access: http://www.radiationproblems.org.ua/24_2019_eng_s53.html (date of access: 11.06.2020) – Title from screen.

14. Костенецький М. І. Грунт під будинком – основне джерело радону в приміщенні. / М.І. Костенецький, А.І. Севальнєв, А.В. Куцак. // Запорожский медицинский журнал.– 2012. – №1 (70). – С. 89-91.

15. Костенецький М.І. Радіоактивність мінеральних добрив та дози опромінення населення. / М.І. Костенецький, А.В. Куцак. // Екологічна безпека: сучасні проблеми та пропозиції: матеріали XVII Міжн. наук.-практ. конф. [Харків], 13-17 вересн. 2019 р. / УКРНДІЕП – Харків, 2019. – С. 231–234.

16. Костенецький М.І. Щодо питання радіаційно-гігієнічного моніторингу питної води. / М.І. Костенецький, А.І. Севальнєв. // Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України: матеріали VII Всеукр. Наук.-практ. конф. [Запоріжжя], 12-13 травн. 2011 р. / Запорізький держ. мед. ун-т – Запоріжжя, 2011. – С. 320-323.

17. Костенецький М. І. Радіаційно-гігієнічний моніторинг питної води. / М.І. Костенецький // СЕС. Профілактична медицина. – 2012. – №3. – С. 60–61.

18. Про затвердження державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною [Електронний ресурс]: Наказ Мінохоронздорів'я України від 12.05.2010 р. № 400 станом на 22.03.2022 р. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> (дата звернення 17.11.2022). – Назва з екрана.

19. Костенецький М.І. Аналіз результатів дослідження питної води на сумарну радіоактивність. / М.І. Костенецький, Л.Т. Лемешко, М.В. Борцова, І.Л. Трусевич, С.М. Преображенська. // Моніторинг, аналіз та оцінка ризиків в стані здоров'я населення Запорізької області: матеріали наук.-практ. конф. [Запоріжжя], 7-8 жовтн. 2020 р. / Запорізький ОЛЦ МОЗ України. – Запоріжжя, 2020. – С. 4–5.

20. Костенецький М.І. Обґрунтування нового нормативу сумарної альфа-активності питної води. / М.І. Костенецький, Л.Т. Лемешко. // Актуальні питання громадського здоров'я та екологічної безпеки України: матеріали наук.-практ.

конф. [Київ], 17-18 жовтн. 2019 р. / Ін-т гігієни та мед. екол. ім. О.М. Марзєєва НАМНУ – Київ, 2019. – С. 171–173.

21. Куцак А.В. Рівні опромінення населення Запорізької області за рахунок природної радіації в будівлях. / А.В. Куцак. // Сучасні аспекти медицини і фармації: матеріали Всеук.наук.-практ. конф. [Запоріжжя], 14-15 травн. 2015 р. / Запорізький держ. мед. ун-т. – Запоріжжя, 2015. – С. 23.

22. ICRP Publication 115. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. – New York : Pergamon Press. – 2010. – 64 p. – (Annals of the ICRP. – 2010. – V. 40/1).

23. Куцак А. В. Радіаційно-гігієнічна оцінка доз опромінення населення Запорізької області та обґрунтування шляхів зменшення радіаційних ризиків для здоров'я населення : дис ... канд. мед. наук : 14.02.01 / Куцак Алла Валеріївна. – Запоріжжя, 2016. – 149 с.

24. Куцак А.В. Удосконалення системи радіаційно-гігієнічного моніторингу. / А.В. Куцак. // Забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення Запорізької області в умовах реформування. Перший досвід. Проблеми та перспективи: матеріали 55-ї наук.-практ. конф. [Запоріжжя], 12 травн. 2015 р. / Запорізький держ. мед. ун-т. – Запоріжжя, 2015. – С. 20.

25. Фризюк М. А. Наукове обґрунтування оптимізації протирадонових заходів для громадських будівель (на прикладі дитячих навчальних закладів Кіровоградської області) : дис. ... канд. мед. наук : 14.02.01 / Фризюк Мирослава Анатоліївна – Київ, 2013. – 168 с.

26. Костенецький М. І. Ризик опромінення дошкільників радоном-222 та вартість протирадонових заходів. / М.І. Костенецький, Л.Т. Лемешко, А.В. Куцак, Т.О. Павленко, М.В. Аксьонов, М.А. Фризюк. // Забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення Запорізької області в умовах реформування. Перший досвід. Проблеми та перспективи: матеріали 55 наук.-практ. конф. [Запоріжжя], 12 травн. 2015 р. / ЗНТУ – Запоріжжя, 2015. – С. 9–10.

27. Куцак А.В. Соціально-гігієнічний моніторинг здоров'я дітей в аспекті оцінки радіаційного ризику за рахунок радону-222. / А.В. Куцак, А.І. Севальнєв, М.І. Костенецький. // Єдине здоров'я та проблеми харчування. 2018. — №1, С. 34–37.

28. Павленко Т. О. Оцінка вмісту природних радіонуклідів в індустріальних залишках підприємств / Т. О. Павленко, М. В. Аксьонов, Н. Д. Шабуніна // Довкілля та здоров'я. – 2015. – №1 – С. 21-24.

29. МР 6. 6.1.6 2-160-2007. Методичні рекомендації. Здійснення контролю за дотриманням радіаційно-гігієнічних параметрів у будівництві – [Чинний від 2007-12-29]. – Вид. офіц. – Київ. – 2009 – 28 с.

30. Костенецький М. І. Радіоекологія середовища життєдіяльності населення Запорізької області: монографія. / М.І. Костенецький, А.І. Севальнєв, А.В. Куцак – Запоріжжя: Вид-во ЗДМУ, 2017. –151 с.

31. Куцак А.В. Стан дозового навантаження населення від різних джерел випромінювання (на прикладі Запорізької області). / А.В. Куцак, А.І. Севальнєв, М.І. Костенецький. // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України: матеріали наук-практ. конф. з міжн. уч. [Київ], 16-17 жовтн. 2017 р. / Ін-т гігієни та мед. екол. ім. О.М. Марзеєва НАМНУ – Київ, 2017. – С. 127-130.

32. ICRP Publication 103. Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique. – Paris : TEC & DOC. – 2009. – 417 p. – (Annals of the ICRP. – 2009. – V. 49, N 18).

33. Костенецький М.І. Оцінка ризику наслідків опромінення для населення Запорізької області. / М.І. Костенецький, А.І. Севальнєв, А.В. Куцак // Вісник проблем біології і медицини. – 2018. – Т. 1, вип. 4. – С. 40–44.

34. Куцак А.В. Сучасні міжнародні підходи щодо питання захисту населення від впливу опромінення. / А.В. Куцак. // Актуальні проблеми діагностики, лікування та профілактики професійних захворювань в Україні: матеріали наук-практ. конф. з міжн. уч. [Кривий Ріг], 16 вересн. 2016 р. / Український НДІ пром. медицини. – Кривий Ріг, 2016. – С. 197–200.

**ПЕРЕЛІК ВЛАСНИХ ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСКОЇ
РОБОТИ:**

Мартиничева Є.В. Стан опромінення населення від природних джерел радіації /
Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «SCIENCE IN THE
ENVIRONMENT OF RAPID CHANGES» - Брюссель, Бельгія, 2023. С. 253-256.