

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет Радіоелектроніки, комп'ютерних систем та інфокомунікацій
Кафедра Радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих засобів і
технологій

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка алгоритму оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів
на здоров'я людини»

ХАІ.502.564М.22о.163.1605008 ПЗ

Виконала: студентка б курсу групи № 564М
Галузь знань 16 Хімічна та біоінженерія
Спеціальність 163 Біомедична інженерія
Освітня програма «Біомедична
інформатика та радіоелектроніка»
(код і найменування напрямку підготовки)

Піщанська Я.А.

(прізвище й ініціали студента)

Керівник: д.т.н., проф. Висоцька О.В.

(посада, науковий ступінь, прізвище й ініціали)

Рецензент: д.т.н., проф. Лисиченко М.Л.

(прізвище й ініціали)

Харків – 2022

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет Радіоелектроніки, комп'ютерних систем та інфокомунікацій
(повне найменування)
 Кафедра Радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих засобів і технологій
(повне найменування)
 Рівень вищої освіти другий (магістерський)
 Галузь знань 16 Хімічна та біоінженерія
 Спеціальність 163 Біомедична інженерія
(код та найменування)
 Освітня програма Біомедична інформатика та радіоелектроніка
(найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедри

О.В. Висоцька
(ініціали та прізвище)
(підпис)
 « » 2022 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Піщанська Яна Анатоліївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка алгоритму оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини

керівник роботи д.т.н., професор Висоцька Олена Володимирівна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету № 1496 - уч від « 27 » жовтня 2022 року
 2. Термін подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи 14 грудня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: результати вимірювань природних, техногенних та антропогенних факторів радіонуклідної небезпечності; метод бінарно-логістичної регресії; програмне забезпечення IBM SPSS Statistics.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв'язати):

4.1. Аналітичний огляд методів та засобів оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини.

4.2. Розробка математичної моделі визначення радіонуклідної небезпечності території

4.3. Розробка алгоритму оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини.

4.4. Рекомендації відносно біозахисту людини від впливу природних радіонуклідів.

5. Перелік графічного матеріалу:

5.1. Схема повітряного шляху надходження радіонуклідів (Плакат, А3).

5.2. Алгоритм оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини (Плакат, А3).

5.3. Структурна схема біотехнічної системи оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини (Плакат, А4).

5.4. Фізична модель бази даних біотехнічної системи оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини (Плакат, А4).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Усі розділи	д.т.н., зав. каф. Висоцька О.В.	31.10.2022	

Нормоконтроль _____ В.М. Олійник «12» грудня 2022 р.
(підпис) (ініціали та прізвище)

7. Дата видачі завдання «31» жовтня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	31.10.2022	
2	Аналітичний огляд методів та засобів оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини	31.10.2022 – 08.11.2022	
3	Розробка математичної моделі визначення радіонуклідної небезпечності територій	09.11.2022 – 15.12.2022	
4	Розробка алгоритму оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини	16.11.2022 – 22.11.2022	
5	Рекомендації відносно біозахисту людини від впливу природних радіонуклідів	23.11.2022 – 30.11.2022	
6	Оформлення пояснювальної записки	01.12.2022 – 10.12.2022	
7	Передзахист випускної роботи	11.12.2022 – 13.12.2022	
8	Захист випускної роботи	14.12.2022	

Здобувач вищої освіти _____

(підпис)

Я.А. Піщанська

(ініціали та прізвище)

Керівник кваліфікаційної роботи _____

(підпис)

О.В. Висоцька

(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра: 89 стор., 10 рис., 12 табл., 2 додатків, 31 джерел.

АЛГОРИТМ, БАЗА ДАНИХ, БІОЗАХИСТ, ЕКОЛОГІЯ, МОДЕЛЬ, МОНІТОРИНГ, ОПРОМІНЕННЯ, РАДІОНУКЛІД, РАДІАЦІЯ, РЕГРЕСІЯ.

Об'єкт розробки – процес оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини.

Предмет розробки – математичні методи та алгоритми оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини.

Мета роботи – розробка алгоритму оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини та його застосування.

Методи розробки – методи математичного аналізу, теорії ймовірності та математичної статистики, опрацювання експериментальних даних.

В результаті виконання кваліфікаційної роботи був розроблений алгоритм оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини. Для цього був праведний аналітичний огляд методів та засобів оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини. Розроблена математична модель визначення радіонуклідної небезпечності територій. Та викладені рекомендації відносно біозахисту людини від впливу природних радіонуклідів.

ABSTRACT

Explanatory note to the qualification work of the master's: 89 p., 10 fig., 12 tabl., 2 ad., 31 sources.

ALGORITHM, DATABASE, BIO PROTECTION, ECOLOGY, MODEL, MONITORING, IRRADIATION, RADIONUCLIDE, RADIATION, REGRESSION.

The object of development is the process of assessing the effects of natural radionuclides on human health.

The subject of development is mathematical methods and algorithms for assessing the effects of natural radionuclides on human health.

The purpose of the work is to develop an algorithm for assessing the effects of natural radionuclides on human health and its application.

Development methods – methods of mathematical analysis, probability theory and mathematical statistics, processing of experimental data.

As a result of the qualification work, an algorithm for assessing the effects of natural radionuclides on human health was developed. For this, there was a righteous analytical review of methods and means of assessing the effects of natural radionuclides on human health. A mathematical model for determining the radionuclide hazard of territories has been developed. And the recommendations regarding human bioprotection against exposure to natural radionuclides are presented.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	7
Вступ.....	8
1 Аналітичний огляд методів та засобів оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини.....	10
1.1 Вплив радіоактивних елементів на організм людини	10
1.2 Аналітичний огляд існуючих методів оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини.....	18
1.3 Огляд та аналіз засобів оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини.....	23
1.4 Висновки до розділу	30
2 Розробка математичної моделі визначення радіонуклідної небезпечності території	31
3 Розробка алгоритму оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини.....	41
3.1 Побудова алгоритму оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини.....	41
3.2 Розробка структурної схеми біотехнічної системи оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини.....	57
4 Рекомендації відносно біозахисту людини від впливу природних радіонуклідів.....	64
Висновки	81
Перелік джерел посилань	83
Додаток А. Результати вимірювань природних, техногенних та антропогенних факторів радіонуклідної небезпечності.	86
Додаток Б. Фрагмент лістингу коду програми створення бази даних	89

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АЕС – атомна електростанція;
БД – база даних;
БТС – біотехнічна система;
ВБЕ – відносної біологічної ефективності;
ГІС – геоінформаційна система
ГФУ – гексафториду урану;
ІВ – іонізуюче випромінювання;
ІПБ – Інститут проблем безпеки;
КЯ – коефіцієнта якості;
ЛВЛ – лічильник випромінювання людини
ЛД – ліміти дози;
МДД – мінімально детектуюча доза;
МКРЗ – Міжнародна комісія з радіаційного захисту;
НАН – Національна академія наук;
НС – надзвичайна ситуація;
ПК – персональний комп'ютер;
ПРЗ – протирадіаційний захист;
РБ – радіаційна безпека;
СІ – система одиниць;
СУБД – система управління базами даних;
ЦЗ – цивільний захист;
ШКТ – шлунково-кишковий тракт;

ВСТУП

Сьогодні накопичений величезний запас знань і даних у про вміст і поведінку радіонуклідів у різних екосистемах. Існує чимало математичних моделей, які відображають формування дози опромінення як при радіаційних аваріях на ядерних підприємствах, так і при їх безаварійній роботі [2-5]. Вони дають можливість прогнозувати рівні радіаційного забруднення, підвищуючи ефективність управління екологічною безпекою. Та оцінювання ризику від забруднення навколишнього середовища радіонуклідами не має широкого застосування.

Актуальність роботи пов'язана не тільки з несприятливим впливом радіоактивного опромінювання та зараження місцевості, а й з вивченням наслідків впливу природних радіонуклідів на організм та здоров'я людини.

За результатами проведеного дослідження в кваліфікаційній роботі підкреслюється актуальне наукове завдання забезпечення екологічної безпеки людини, яка знаходиться в середовищі, що містить природні радіонукліди, в якій враховуються вплив природних радіонуклідів на людину та на процес радіаційного забруднення навколишнього середовища, оцінюються ризики та наслідки впливу на населення.

Мета роботи полягає у розробці алгоритму оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини, який можна використовувати у біотехнічній системі для запобігання або зменшення негативного впливу радіонуклідів на організм людини.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка алгоритму оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини та застосування його в біотехнічній системі.

Об'єкт розробки є процес оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини.

Предмет розробки – математичні методи та алгоритми оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини.

Методи розробки – методи математичного аналізу, теорії ймовірності та математичної статистики, опрацювання експериментальних даних.

Наукова новизна кваліфікаційної роботи полягає в розробці алгоритму оцінювання наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини, який базується на новій математичній моделі визначення радіонуклідної небезпечності територій та дозволяє врахувати негативний вплив радіонуклідів на організм людини і своєчасно здійснити відповідні лікувально-профілактичні заходи.

Практична цінність: за допомогою розробленого алгоритму, можна оцінити вплив на здоров'я людини забруднення природними радіонуклідами при видобутку та переробці руд та матеріалів, збагачених природними радіонуклідами навколишнього середовища, і забезпечення рекомендаціями щодо радіоекологічного захисту населення та довкілля в Україні при поводженні з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- 1) провести аналітичний огляд існуючих методів та засобів оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини;
- 2) розробити математичну модель визначення радіонуклідної небезпечності території;
- 3) провести розробку алгоритму оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини;
- 4) надати рекомендації відносно біозахисту людини від впливу природних радіонуклідів.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ОЦІНКИ НАСЛІДКІВ ВПЛИВУ ПРИРОДНИХ РАДІОНУКЛІДІВ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

1.1 Вплив радіоактивних елементів на організм людини

Людина в процесі свого життя піддається опроміненню як від природних, так і від штучних (створених людиною в результаті її діяльності) джерел іонізуючих випромінювань (ІВ).

До основних природних джерел природного опромінення (природне радіаційне тло) відносяться космічне випромінювання, природні радіонукліди, що містяться в гірських породах і ґрунті, у повітрі, воді, їжі та інкорпоровані в тканинах людини.

До антропогенних джерел відносяться установки, що генерують іонізуючі випромінювання, а також радіонукліди, які існували у природі і створені людиною. За останні кілька десятиріч років людина створила кілька сотень штучних радіонуклідів.

Людина завжди піддавалася опроміненню від природних джерел іонізуючих випромінювань. Він як біологічний вид сформувався якраз в умовах природного радіаційного фону. Природний радіаційний фон існував і до появи людини. Діяльність людини на шляху науково-технічного прогресу призводить до зміни довкілля. Внаслідок цього збільшилися дози опромінення за рахунок природного радіаційного тла. Цю добавку до «нормального» природного тла, що є результатом діяльності людини, зручно виділити як самостійну і назвати її – технологічно змінений природний радіаційний фон або техногенний радіаційний фон від природних джерел. Техногенний природне тло створюється, наприклад, при видобутку корисних копалин, при використанні будівельних матеріалів і мінеральних добрив, що містять природні радіонукліди, при польотах на літаках на великій висоті та ін.

Під дією іонізуючого випромінювання в організмі людини утворюються речовини з високою хімічною активністю – вільні атоми або радикали, які руйнують клітини організму. Іонізуюче випромінювання може і безпосередньо впливати на біологічні молекули. Ураження клітин значною мірою залежить від того, наскільки інтенсивно в них проходять обмінні процеси: чим вище рівень обмінних процесів, тим вище і їх уражуваність радіоактивним випромінюванням. Найбільш вражає клітини органів кровотворення, кишкового епітелію (в ньому багато імунних клітин), статеві клітини, епітелій шкіри, сумки кришталика ока, сполучну тканину, хрящі, кістки, м'язи, нервову тканину [1].

Небезпека різних радіоактивних елементів для людини визначається спроможністю організму їх поглинати і накопичувати.

Радіоактивні ізотопи надходять всередину організму з пилом, повітрям, їжею або водою і поводять себе порізно: деякі ізотопи розподіляються рівномірно в організмі людини (трій, вуглець, залізо, полоній), деякі накопичуються в кістках (радій, фосфор, стронцій), інші залишаються в м'язах (калій, рубідій, цезій), накопичуються в щитоподібній залозі (йод), у печінці, нирках, селезінці (рутений, полоній, ніобій) тощо.

Ефекти, викликані дією іонізуючих випромінювань (радіації), систематизуються за видами ушкоджень і часом прояву. За видами ушкоджень їх поділяють на три групи: соматичні, соматико-стохастичні (випадкові, ймовірні), генетичні. За часом прояву виділяють дві групи: ранні (або гострі) і пізні. Ранні ураження бувають тільки соматичними. Це призводить до смерті або променевої хвороби. Постачальником таких часток є переважно ізотопи, що мають коротку тривалість життя. Гостра форма виникає в результаті опромінення великими дозами за короткий проміжок часу. При дозах порядку тисяч Рад ураження організму може бути миттєвим. Хронічна форма розвивається внаслідок тривалого опромінення дозами, що перевищують ліміти дози (ЛД). Більш віддаленими наслідками променевого ураження можуть бути променеві катаракти, злоякісні пухлини, тощо [1].

Сьогодні накопичений величезний запас знань і даних моніторингу про вміст і поведінку радіонуклідів у різних екосистемах. Існує чимало математичних моделей, які відображають формування дози опромінення як при радіаційних аваріях на ядерних підприємствах, так і при їх безаварійній роботі [2-5]. Вони дають можливість прогнозувати рівні радіаційного забруднення, підвищуючи ефективність управління екологічною безпекою. Та оцінювання ризику від забруднення навколишнього середовища радіонуклідами не має широкого застосування.

Вплив іонізуючого випромінювання на організм людини можна умовно поділити на зовнішнє, контактне, внутрішнє та хронічне. Хоча у практиці роботи на атомній електростанції (АЕС) трапляються випадки комплексного впливу.

Зовнішнє опромінення поділяють на опромінення всього тіла, місцеве, дробове та гостре. Величина вражаючої дії зовнішнього опромінення визначаються не тільки дозою та коефіцієнтом якості, а й глибиною проникнення радіації у тканини організму. Так космічні та гамма промені пронизують людину наскрізь. Бета-випромінювання радіоактивних ізотопів проникає на глибину до 4 –5 см. Альфа-частинки випромінюючих ізотопів не долають вже роговий шар шкіри людини завтовшки 0,1– 0,3 мм.

Зовнішнє опромінення всього тіла, з урахуванням його внеску в індивідуальні та колективні дози, є основним джерелом випромінювання біля території АЕС. Його джерела: це γ -випромінювання ядерного реактора, технологічних контурів, обладнання з радіоактивними середовищами та будь-які поверхні, забруднені радіоактивними речовинами. Істотно менший внесок у зовнішнє опромінення вносять нейтронне та β -випромінювання.

Місцеве (локальне) опромінення – опромінення частини організму.

Дробне опромінення – опромінення, що відбувається багаторазово з інтервалами між окремими впливами.

Гостре опромінення – одноразове короткочасне опромінення, коли організм отримує значну дозу. Воно може статися внаслідок радіаційної аварії

чи грубих порушень правил радіаційної безпеки.

Хронічне опромінення – постійна дія іонізуючого випромінювання протягом тривалого часу.

Контактне опромінення – це різновид зовнішнього опромінення, коли радіоактивна речовина або джерело іонізуючого випромінювання стикається зі шкірним покривом організму. Наприклад, це може статися, якщо людина візьме незахищеними руками радіоактивну речовину або джерело іонізуючого випромінювання. Шкіра рук при цьому зазнає інтенсивного опромінення. Характер та міцність фіксації радіоактивних речовин поверхнею шкірного покриву у дрібних борозенках, порах, протоках потових та сальних залоз залежить від фізичних особливостей та хімічного складу радіоактивної речовини та стану шкірного покриву. Чим сильніша розчинність забруднюючої речовини, тим більша ймовірність тісного контакту його з шкірним покривом.

При безпосередньому впливі на шкіру іонізуючого випромінювання на ній можуть з'явитися окремі або згруповані бульбашки, спостерігається згладженість рисунку шкіри, рясна потовиділення на пальцях при сухості долонь. У разі хронічного ураження шкіри іонізуючим випромінюванням пізніше можуть з'явитися доброякісні новоутворення, старече в'янення шкіри. Тривалий вплив іонізуючих випромінювань часто є причиною хронічних дерматитів. При своєчасній дезактивації забруднених ділянок шкіри променеві ураження, як правило, знешкоджуються.

Внутрішнє опромінення відбувається за рахунок радіонуклідів, що проникли всередину організму через органи дихання, шлунково-кишковий тракт (ШКТ) та шкірні покриви.

Біологічний ефект при внутрішньому опроміненні організму значно вищий. У цьому випадку збільшується час опромінення (опромінення відбувається постійно), зменшується геометричне ослаблення потоку енергії (джерело розташоване впритул), неможливе застосування захисту і відбувається концентрація радіонуклідів у окремих органах вибірково. На рис.1.1 схематично

показано можливі шляхи надходження, обмін і виділення радіонуклідів з організму людини.

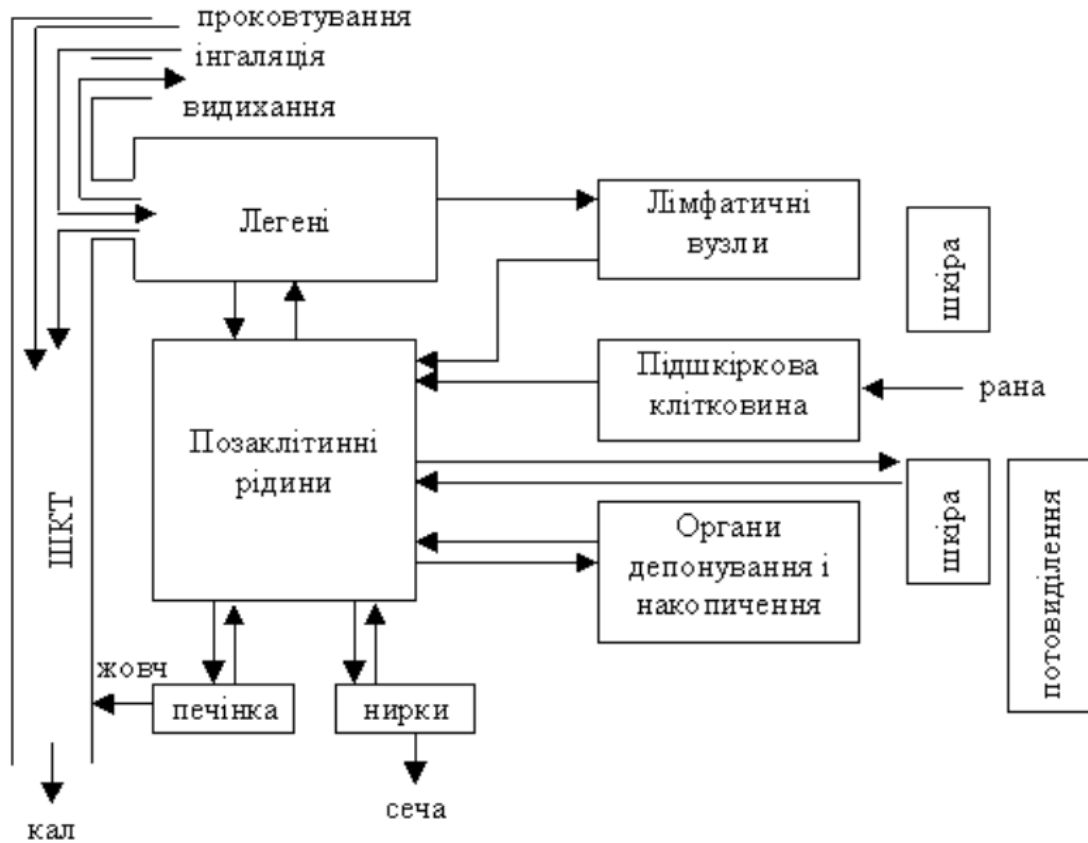


Рисунок 1.1 – Шляхи надходження, обмін і виділення радіонуклідів з організму

Найбільш небезпечний інгаляційний шлях надходження радіоактивних речовин через великий обсяг легеневої вентиляції. Виходячи з цього, джерелом надходження радіонуклідів до організму людини є повітря, забруднене радіоактивними газами і аерозолями, а також продукти харчування. З повітрям при вдиханні до організму можуть надходити гази, пари і зважені в повітрі рідкі та тверді речовини (аерозолі). За розміром частинок аерозолі поділяють на пил, туман і дим.

Діаметр частинок пилу – більше 10 мкм, туману – 10–0,1 мкм, диму – 0,1–0,001 мкм. За фізико-хімічними властивостями аерозолі поділяють на заряджені і незаряджені. За однорідністю розмірів частинок їх поділяють на монодисперсні та полідисперсні. За ступенем проникнення в легеневі альвеоли розрізняють респірабельну фракцію (5–10 мкм і менше) та нереспірабельну (більше 15–20 мкм). Частка аерозолів, які відклалися в легенях буде залежати від фізико-хімічних властивостей речовини. Розчинні сполуки радіоактивних речовин швидко всмоктуються в дихальні шляхи і надходять у кров. Нерозчинні – осідають на стінках органів дихання, потім виділяються із легень за допомогою слизу і епітелію бронхів.

Для кількісної оцінки затримки і осідання пилу в легенях застосовують коефіцієнт осідання, який є відношенням кількості частинок, які осіли в дихальних органах до вмісту їх в повітрі, яке вдихується. Дрібнодисперсні аерозолі з діаметром частинок 0,1–0,001 мкм в значних кількостях затримуються в альвеолах, більші 1–10 мкм – в трахеї і легенях, а аерозолі з діаметром частинок більше 10 мкм – в носоглотці [7].

Особливий вплив на організм вносять такі хімічні елементи як торій ^{232}Th та уран ^{235}U . В живих організмах солі торію піддаються гідролізу з утворенням важко розчинного гідроксиду, який утворює міцні комплекси з білками, амінокислотами і органічними кислотами. Дуже дрібні частинки можуть адсорбуватися на поверхні клітин м'яких тканин та в істотній мірі депонуватися в кістковій тканині. Торій як і уран потрапляє в організм здебільшого з водою та їжею, з цього випливає що, міграційна здатність торію в природних водах сильно обмежена. Просторовий розподіл його в водоймах більш нерівномірний (ніж урану), а час перебування відносно малий у порівнянні з часом загального кругообігу вод у водоймі (для океану < 100–300 років). Торій хімічно активний. Основна валентність 4. У природних умовах представлений оксидами, силікатами, фосфатами, карбонатами, фторидами. Відомо кілька десятків мінералів торію, головними з яких є монацит, торіт, уратоторіт, торіаніт. Майже

всі мінерали торію містять і уран, звичайні мінерали торію це циркон, пірохлор утворюють прибережні, морські та шельфові, розсипні родовища [8].

Протягом останніх 100 років людство навчилося використовувати радіонукліди з різною метою: в медицині, для виробництва енергії, для створення ядерної зброї та ін. Це зумовило збільшення дози опромінення як окремих людей, так і населення планети в цілому. При цьому індивідуальні дози, отримані людьми від різних техногенних джерел радіації, надто відрізняються. У більшості випадків такі дози є незначними, проте іноді опромінення від штучних джерел буває в тисячі разів інтенсивніше, ніж за рахунок природних.

Після відкриття явища радіоактивності й упродовж багатьох років головним індикатором впливу на людину як на основний об'єкт радіоекологічних досліджень вважалося почервоніння шкіри. До 50-х років ХХ ст. єдиним чинником безпосереднього впливу радіації на організм людини вважали пряме радіаційне ураження шкіри, кісного мозку, центральної нервової системи, шлункового тракту у результаті дії гострої променевої хвороби.

Однак одним з найбільших ефектів опромінення всього живого на планеті, у тім числі й людину, виявилось руйнування молекул білка та утворення нових, нехарактерних цим організмам молекул. У разі сильної дії радіації на організм людини в її тілі не встигають створюватися антитіла, необхідні для боротьби з чужими білковими утвореннями, і розвивається захворювання, яке називається лейкоз або лейкемія – пухлинне ураження крові.

Іншим небезпечним наслідком опромінення людини під час отримання малих доз радіації є рак – злоякісне новоутворення в її організмі. Найпоширенішими видами ракових хвороб є рак молочної і щитовидної залоз. Рак інших органів і тканин серед опроміненого населення трапляється значно рідше. Навіть найменша доза збільшує імовірність захворювання раком, а будь-яка додаткова доза опромінення суттєво збільшує таку вірогідність.

Найстрашнішим для майбутнього людства вважається свідчення того, що радіаційні порушення (генні, хромосомні і геномні мутації) передаються

спадково протягом багатьох наступних поколінь. Близько 10 % новонароджених мають всілякі генетичні дефекти, різною мірою спричинені впливом радіоактивного випромінювання. Опромінення прискорює процес старіння людини, а отже, суттєво зменшує тривалість її життя [9].

Перелік наслідків дії іонізуючого випромінювання на людину постійно зростає. Сьогодні до нього входять такі захворювання [6-7]:

- ураження гострою променевою хворобою;
- розвиток лейкозу, лейкемії та ін. пухлинних хвороб крові;
- виникнення злоякісних новоутворень (раків) будь-яких органів;
- порушення генетичного коду (мутаційні зміни);
- ураження нервової системи, кровоносних та лімфатичних судин;
- пошкодження органів зору, помутніння кришталика ока, розвиток катаракти;
- порушення обміну речовин та ендокринної рівноваги;
- виникнення тимчасової або постійної стерильності та імпотенції;
- розвиток імунодефіциту, підвищення чутливості організму до звичайних захворювань;
- порушення психічного та розумового розвитку;
- прискорення старіння організму.

Доказом того, що ці захворювання значною мірою зумовлені радіацією, присвячені численні публікації [8-9]. Матеріал для такого переліку зібраний на основі результатів аналізу вивчення наслідків радіаційних аварій (особливо на Чорнобильській АЕС), атомних бомбардувань Хіросіми й Нагасакі у 1945 році, наслідків процесу виробництва та випробування тисяч ядерних бомб, даних рентгенодіагностики і рентгенотерапії та ін.

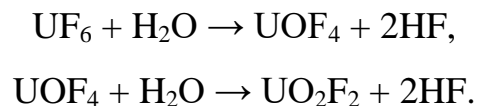
Під тиском переконливих фактів, отриманих за результатами проведених радіаційно-екологічних досліджень владними структурами і працівниками-атомниками багатьох країн світу, поступово визнається зв'язок з радіацією дедалі більшого кола важких захворювань людини.

Різні радіонукліди мають свої особливості затримання й концентрації в органах та тканинах людини. Отже, окрім зовнішнього опромінення людини, є і внутрішнє опромінення, викликане радіонуклідами, що надійшли до організму з їжею, водою, атмосферним повітрям або через пошкоджену шкіру. Доза внутрішнього та зовнішнього опромінення людини за певних умов радіоактивного забруднення екосистеми відрізняється у сотні разів, притому вищим буває як внутрішнє, так і зовнішнє опромінення.

Вплив будь-якої малої дози опромінення певної екосистеми більший за еволюційно-звичний рівень змінює її внутрішню структуру та взаємовідносини з сусідніми екосистемами. Навіть найменші дози радіації здатні вплинути на функціонування, динаміку і розвиток екосистем.

1.2 Аналіз існуючих методів оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини

В одній із робіт [12] проводилась побудова математичної моделі, що описує вплив на організм людини гексафториду урану (ГФУ, UF₆), що надходить у повітря робочого приміщення на підприємстві атомної промисловості. Відомо, що викинутий у повітря ГФУ гідролізується (взаємодіє з водяними парами) за наступною схемою:



Молекули UO₂F₂ та HF утворюють аерозольні частинки внаслідок нуклеації. В результаті виявляється, що повітря робочого приміщення забруднене речовинами: UF₆ (газ), UOF₄ (газ), UO₂F₂ (газ), HF (газ), UO₂F₂ (аерозоль), HF (аерозоль).

Молекули UF_6 , UOF_4 , UO_2F_2 , HF є носіями атомів урану та фтору, що надають негативний вплив на організм людини як при інгаляційному (через органи дихання), так і при перкутанному (через шкіру) надходженні. У комплексній моделі поетапно описуються всі супутні забруднення фізичні процеси, починаючи з появи в повітрі гексафториду урану та закінчуючи виходом токсичних речовин (урану та фтору) з організму людини. У комплексній моделі в якості складових частин використовуються деякі елементи моделей МКРЗ (Міжнародна комісія з радіаційного захисту), взяті у дещо згорнутому вигляді, достатньому на вирішення поставлених завдань.

У рамках комплексної моделі було вирішено такі завдання.

1. Описано просторовий розподіл концентрацій і густин потоків токсичних атомів речовин у робочому приміщенні.

2. Кількісно описано депонування урану та фтору в організмі людини взагалі і в бар'єрних органах зокрема (бар'єрними називаються органи, через які токсичні речовини потрапляють до організму).

3. Встановлено кількісне співвідношення між надходженнями токсичних речовин в організм людини через дихальну систему та через шкірні покриви.

4. Визначено максимально можливе забруднення робочого приміщення та знайдені надходження токсичних речовин в організм людини, що відповідають цьому забрудненню.

5. Визначено величину дозового коефіцієнта для перкутанного надходження урану.

В роботі [13] була використана наступна методика, яка описує два методи розрахунку радіаційного впливу, пов'язаного з опроміненням:

– був врахований ризик від зовнішнього опромінення як добуток потужності дози зовнішнього опромінення на час (рік);

– визначений ризик, пов'язаний з внутрішнім опроміненням при надходженні радіонуклідів з повітрям та / або з їжею і водою, на основі активності радіонуклідів, які потрапили в організм людини за певний час.

Була розрахована ефективна доза внутрішнього опромінення, що викликана цією активністю.

Після обчислення величини дози внутрішнього опромінення було розраховано значення індивідуального радіаційного ризику. Цей коефіцієнт характеризує скорочення тривалості періоду повноцінного життя в середньому на $\beta = 15$ років на один стохастичний випадок смертельного захворювання.

Також порахований колективний радіаційний ризик, який показує кількість випадків прояву стохастичних (соматичних-канцерогенних) і генетичних (спадкових) серйозних, як правило, смертельних захворювань.

Результати обчислень підтверджують існування ризику загрози здоров'ю населення від споживання води та продуктів харчування у досліджуваній зоні природокористування, яка зазнає впливу АЕС (мова йде про значну аварію).

Застосований метод розрахунку впливу дає необхідні прогнози.

Дієвим чинником забезпечення радіаційної безпеки є дозиметричний контроль за рівнями опромінення персоналу та за рівнем радіації в навколишньому середовищі. Оцінка радіаційного стану здійснюється за допомогою приладів, які називаються дозиметр та радіометр. Дозиметр – прилад для вимірювання потужності дози випромінювання. Радіометр – прилад для вимірювання ступеню забрудненості радіоактивними речовинами.

Розвиток атомної промисловості, широке використання ядерних технологій у різних галузях народного господарства призвели до необхідності створення надійних методів реєстрації іонізуючих випромінювань.

Взаємодія іонізуючих випромінювань з різними речовинами призводить до різноманітних змін їх фізичних та хімічних властивостей. Ці зміни беруться за основу розробки методів реєстрації іонізуючих випромінювань. Невід'ємна частина будь-якого детектора – чутливий обсяг, в якому енергія іонізуючого випромінювання в процесі взаємодії з речовиною перетворюється на певний вид сигналу. Речовина, що є чутливим об'ємом, може бути газом, рідиною, твердим тілом, що і дає відповідні назви детекторам: газові, рідинні, твердотільні.

Залежно від характеру взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною розрізняють такі методи його реєстрації: іонізаційні, сцинтиляційні, напівпровідникові, люмінесцентні, фото-емульсійні, хімічні, калориметричні та ін.

Найпоширеніші методи реєстрації радіаційного випромінювання представлені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Методи реєстрації радіаційного випромінювання

Назва методу	Сутність
1	2
Сцинтиляційний метод	Реєстрація спалахів світла, які виникають у сцинтиляторі (люмінофорі) під дією іонізуючих випромінювань.
Радіолюмінісцентний (фотолюмінісцентний і термолюмінісцентний) метод	Поглинання і накопичення енергії іонізуючого випромінювання спеціальними люмінесцентними детекторами з подальшим перетворенням її на люмінесцентну, інтенсивність якої пропорційна дозі іонізуючого випромінювання і зареєструвати яку можна при термостимуляції (нагріванні), чи фотостимуляції (опроміненні ультрафіолетовим промінням) спеціальним реєструючим приладом.
Фотохімічний метод	Здатність випромінювань викликати фотоліз галоїдного броміду срібла (AgBr).
Хімічний метод	Реєстрація необоротних хімічних змін, вироблюваних випромінюванням в речовині.
Калориметричний метод	Вимірювання кількості тепла, що виділяється в детекторі при поглинанні енергії іонізуючого випромінювання і є пропорційним енергії.
Нейтронно-активаційний метод	Вимірювання наведеної радіоактивності слабких потоків нейтронів або при короткочасній дії великих потоків нейтронів, також має застосування в аварійних ситуаціях.

Продовження табл.1.1.

1	2
Біологічні методи	Оцінка реакції, яка виникає в деяких тканинах при опроміненні їх певною дозою, наприклад, виникнення еритеми, кількість хромосомних аберацій, рівень летальності експериментальних тварин, ступінь лейкопенії та інші.
Розрахунковий (математичний) метод	Використання у клінічній практиці (наприклад при проведенні променевої терапії і інших випадках).

Велику роботу з розробки підходів щодо аналізу та оцінювання екологічного впливу виконало Агентство з охорони навколишнього середовища США у 1990-х рр. Воно систематизувало методи оцінювання екологічного ризику та розробило методики аналізу ризику впливу окремих чинників на навколишнє середовище, у т. ч. безпорогового характеру дії (радіонуклідів та хімічних канцерогенів) [16].

Використання кількісного аналізу невизначеності для вирішення екологічних ризиків стало широко поширеним після Дослідження Безпеки Реактора (PJRC75), і в 1984 році було рекомендовано Агентством на підтримку оцінки ризику для навколишнього середовища. Цей метод призводить до діапазону значень впливу, а не до одного дискретного значення, використовуючи діапазон значень для розрахункових вхідних параметрів. Таким чином можна обмежити вплив певної технологічної діяльності та порівняти різні технології. У випадках, коли розподіли ймовірностей можуть бути призначені набором параметрів розрахункової моделі, результати моделі також можуть бути виражені як ймовірнісні розподіли. Результати виражені як кумулятивний розподіл ймовірностей. Перевірка розподілу показує, що в цьому випадку існує високий рівень впевненості в тому, що технічна діяльність призведе до летального ризику раку протягом життя.

Важливо розуміти, що розподіли параметрів і обчислених ризиків не ґрунтуються суворо на об'єктивних оцінках, а є спробою врахувати судження тих, хто їх вибрав, щоб розумно охопити їхню невизначеність. Як наслідок, ймовірність певного ризику, розрахованого за допомогою цих методів, не слід вважати строгими оцінками фактичних значень, а радше результатами використання розрахункових моделей для наборів параметрів із встановленими невизначеностями [16].

1.3 Огляд та аналіз засобів оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини

Відома інформаційно-аналітична система «Екологічний моніторинг», яка використовується для збору, аналітичної обробки та подання інформації про стан навколишнього середовища регіону та антропогенні впливи на неї. Як об'єкти спостережень та аналізу в даній системі задіяні атмосферного повітря, поверхневі та підземні води, ґрунти, об'єкти тваринного та рослинного світу та ін [17].

Для побудови карти розсіювання шкідливих речовин необхідно мати інформацію про концентрації перерахованих вище газоподібних продуктів і пилу, що викидаються в атмосферу, у вигляді томів гранично допустимих викидів, метеорологічних параметрів і реальних концентрацій, що заміряються за допомогою постів спостереження системи екологічного моніторингу на рис.1.2 показана структурна схема системи екологічного моніторингу.

Пости спостереження містять датчики концентрацій шкідливих речовин, компоненти, властиві для аналізованої території. Для Тульської області це переважно датчики концентрації оксиду вуглецю, діоксиду азоту, діоксиду сірки та пилу. Пости спостереження поділяються на стаціонарні та мобільні. Стаціонарні пости встановлюються у місцях, де можна здійснити відбір проб, обробку і передачі інформації про виміряних концентраціях у центральну базу

даних з різних каналів передачі, тобто. наявність джерела електроенергії та лінії зв'язку – телефонної, стільникової або локальної мережі.

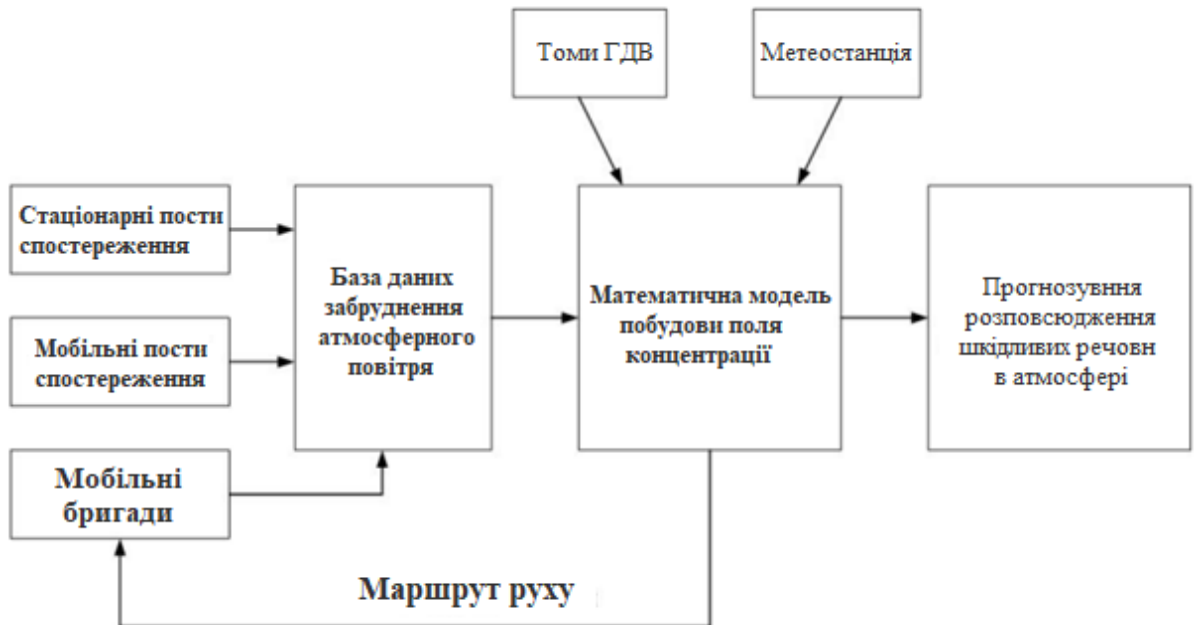


Рисунок 1.2 – Структурна схема системи екологічного моніторингу

Мобільні пости встановлюються на екологічно чистому громадському транспорті, який постійно курсує територією міста. Мобільні пости мають автономне харчування і під час руху по місту визначають своє місце розташування за допомогою системи глобального позиціонування GPS.

Математична модель системи екологічного моніторингу з вибірки з бази даних, томів гранично допустимих викидів та метео параметрів здійснює розрахунок карти розсіювання шкідливих речовин із формуванням маршруту руху мобільної бригади для коригування отриманого прогнозу [17].

Зазначена вище система екологічного моніторингу, незважаючи на свої широкі можливості, не дає досліднику інструментарію для вивчення системних аспектів впливу забруднення повітряного середовища на здоров'я людини.

Велику роботу з розробки підходів щодо аналізу та оцінювання екологічного ризику виконав Інститут проблем безпеки (ІПБ) АЕС Національної академії наук (НАН) України [18]. Для вирішення завдання комплексної оцінки екологічної ситуації на території зони спостереження АЕС та для інформаційного забезпечення моделей атмосферного перенесення та перерозподілу радіонуклідів в об'єктах навколишнього середовища в ІПБ АЕС НАН України створюється просторовий банк даних щодо параметрів навколишнього середовища АЕС з використанням ГІС-технологій. Банк даних є уніфікованою сукупністю інформаційних ресурсів (інформаційних та картографічних баз даних) та програмних продуктів, що реалізують статистичну обробку даних моніторингу, картографічне подання результатів аналізу та прогнозу полів поширення та перерозподіл у навколишньому середовищі радіоактивних речовин від АЕС, зонування території.

До складу банку даних входять такі бази даних (БД):

– БД моніторингу – база даних моніторингу, що проступають від служб радіаційної безпеки АЕС щодо санітарно-захисної зони та зони спостереження АЕС;

– БД результатів розрахунків – база даних результатів моделювання за сценаріями аварійних ситуацій на АЕС України для типових та екстремальних умов погоди;

– БД метеоінформації – база даних типових та екстремальних ситуацій для районів розташування АЕС;

– БД нормативів – база даних довідково-нормативної інформації та даних адміністративного поділу України з інформацією про чисельність населення за пунктами;

– БД картографічної інформації - картографічна база даних території 30-кілометрової зони АЕС.

Структурна схема просторового банку даних на основі систематизації матеріалів моніторингу навколишнього середовища АЕС, показана на рис.1.3.

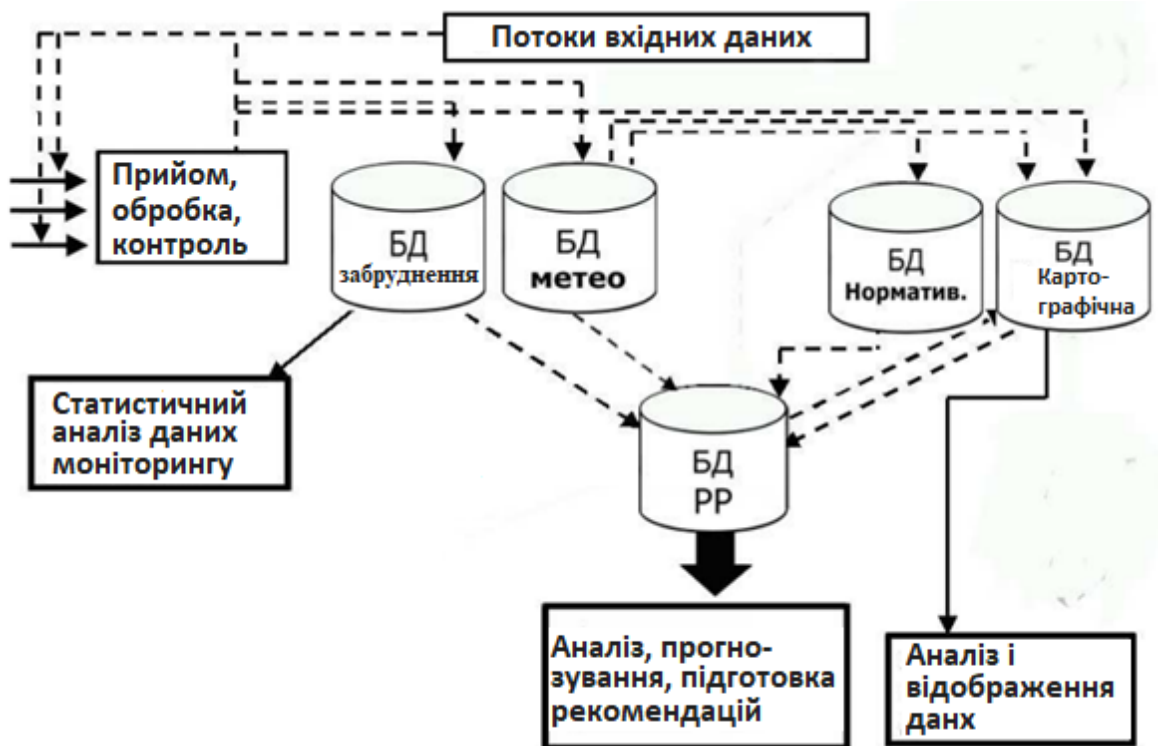


Рисунок 1.3 – Структура банку даних довкілля АЕС

БД результатів розрахунків являє собою сукупність текстових файлів і картографічних покриттів у форматах геоінформаційних систем: MapInfo і Surfer, що містять атрибутивну інформацію про об'ємну активність радіоактивних речовин у повітрі та щільність випадання радіонуклідів на поверхню, що підстилає. Дані, отримані в результаті роботи моделі атмосферного перенесення «LEDI» у текстовому форматі для осередків регулярної сітки, конвертуються у формати ГІС та зберігаються у вигляді полігональних картографічних покриттів, що мають аналог БД у форматі MSAccess.

Для конвертації даних було розроблено відповідні автоматизовані процедури з використанням засобів ГІС MapInfo та Surfer:

– процедура побудови та подання даних у вигляді осередків сітки кроком 250x250 м на території зони спостереження навколо АЕС;

– процедура інтеграції модельних розрахунків (прогнозів) полів осадження та об'ємної активності радіонуклідів у повітрі від АЕС для використання у просторових моделях вторинного забруднення та перерозподілу в об'єктах навколишнього середовища та для подання результатів на різних комплексних картах (рельєфу, еколого-ландшафтного зонування тощо).

Виходячи з цього дані радіаційного контролю зони спостереження АЕС, дані моделювання перенесення та перерозподілу радіонуклідів в об'єктах навколишнього середовища, дані про локальні особливості територій АЕС були інтегровані у створені БД та представлені у вигляді карт зонування території за окремими параметрами. Створене інформаційне забезпечення є основою для прийняття управлінських рішень у питаннях аналізу та оцінки радіаційної ситуації та розробки рекомендацій щодо захисту населення та довкілля.

Таке інформаційно-аналітичне і картографічне забезпечення, являється досить містким – тобто не кожен дослідник зможе скористатись таким забезпеченням, а також звернення до картографічної складової буде затратним.

Питання про радіаційну безпеку завжди актуальне, тому створюється велика кількість приладів для контролю радіаційного стану, якими могли б користуватися як науковці, так і звичайні люди, зацікавлені в особистій безпеці.

Система радіаційного контролю передбачає виконання таких послідовних етапів: вимірювання рівня радіації на місцевості (польова радіометрія, дозиметрія), відбір проб і підготовку їх до дослідження, визначення радіоактивності експресними методами, радіохімічний розподіл радіонуклідів, радіометрію виділених радіонуклідів, розрахунок активності.

Під приладами радіаційного контролю слід розуміти технічні засоби для вимірювання та реєстрації кількісних значень фізичних величин, що характеризують іонізуюче випромінювання. Прилади як засоби вимірювання повинні бути метрологічно нормованими (метрологію приладів радіаційного контролю розглянуто нижче). Технічні засоби вимірювання, метрологічні характеристики яких не нормовані, називаються індикаторами.

Класифікація приладів радіаційного контролю залежить від багатьох ознак, основні з яких такі:

- вид радіаційного контролю;
- функціональне призначення приладу;
- тип вимірюваної фізичної величини;
- вид іонізуючого випромінювання;
- тип конструктивного виконання.

З вигляду радіаційного контролю прилади поділяються на два основні класи прилади дозиметричного контролю та прилади радіаційного технологічного контролю.

Для якісного та кількісного аналізу складу випромінювання, а також радіонуклідного складу розроблено цілий сектор приладів.

Залежно від способу застосування і методу реєстрації даних прилади можна класифікувати як: гамма-спектрометри, бета-спектрометри, альфа-спектрометри, спектрометри вимірювання людини, радіометри, дозиметри, радіометри радону. α , β , γ -спектрометри застосовують для визначення якісного і кількісного аналізу α , β , γ випромінювань радіонуклідів, відповідно, в об'єктах навколишнього середовища, продукції сільського і лісового господарства, продуктах харчування, будівельних матеріалів тощо. ва, продуктах харчування, будівельних матеріалів тощо.

Ці аналізатори складаються з відповідного детектора, блока формування електричних сигналів від детектора, багатоканального аналізатора і обчислювального приладу

Прилади дозиметричного контролю забезпечують отримання необхідної інформації про стан радіаційної обстановки на АЕС, у навколишньому середовищі, а також про дозу опромінення персоналу та населення.

Прилади радіаційного технологічного контролю забезпечують вимір радіаційних параметрів технологічних середовищ та стану захисних бар'єрів на

шляху поширення радіоактивних забруднень. Перелік переносних приладів радіаційного контролю наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Переносні пристрої радіаційного контролю

Найменування приладу	Вимірювана величина	Діапазон	Похибка	Хід із жорсткістю
1	2	3	4	5
Дозиметр ДРГ 3-01	Вимірювання потужності поглиненої дози безперервного та імпульсивного фотонного випромінювання	0 — 1 мкГр/с	± 12%	±20%
Дозиметр ДРГ 3-02	Вимірювання потужності поглиненої дози фотонного випромінювання	0 — 1 мкГр/с	±10-15%	±20%
Дозиметр ДРГ 3-03	Вимірювання потужності поглиненої дози фотонного випромінювання	0 — 10 мкГр/с	±10-15%	±10-15%
Дозиметр ДРГ 3-04	Вимірювання потужності поглиненої дози (або її середньої потужності) безперервного або імпульсивного фотонного випромінювання максимальної поглиненої дози (або її середньої потужності) у тканині	0,1 — 30 мкГр/с 0,1 — 30 мкЗв	± 15%	±15%
Дозиметр ДРГ-05 ДРГ-05М	Вимірювання у жорстких умовах експлуатації потужності дози фотонної випромінювання та якісної оцінки наявності β-випромінювання в діапазоні енергій 0,2-3 МеВ	10^{-3} — 10^{-2} мкГр/с 10^{-2} — 10^2 мГр	±20%	±20%
Дозиметр ДРГ-01Т	Вимірювання потужності поглиненої дози фотонного випромінювання	28 нГр/с - 280 мГр/с	В режимі пошуку: ±(30- 1D) В режимі вимірювання: ±(15+0,5/D)	±25%

Переносні прилади радіаційного контролю призначені для вимірювання різних параметрів радіаційної обстановки безпосередньо на робочих місцях при проведенні радіаційно-небезпечних робіт, під час досліджень тощо.

1.4 Висновки до розділу

Протягом понад 100 років зусиллями багатьох вчених зібрано та проаналізовано експериментально встановлені факти і клінічні спостереження впливу іонізуючої радіації на живий організм.

Різноманіття умов опромінення (види випромінювання, форми контакту людини з джерелами випромінювання, кількісні характеристики радіаційного фактора, часові інтервали після впливу іонізуючих випромінювань, різна радіочутливість органів, тканин і періодів онтогенезу) істотно модифікує ефект впливу іонізуючої радіації.

Уражаючий ефект радіації може бути підвищений посиленням інтенсивності обмінних процесів організму. Навпаки, при зниженому обміні радіорезистентність підвищується. Травми, захворювання, велике фізичне навантаження та інші сильні екстремальні подразники, як правило, також негативно позначаються на перебігу і результаті радіаційних уражень.

Відомі методи не дозволяють в повній мірі оцінити наслідки впливу радіонуклідів саме на здоров'я людини. Розглянуті засоби, являються досить місткими – тобто не кожен дослідник зможе скористатись таким забезпеченням.

Отже, виходячи з проведеного аналізу, підвищується необхідність в розробці автоматизованого алгоритму оцінки наслідків впливу радіонуклідів на здоров'я людини, для попередження підвищення захворюваності та смертності населення.

2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ РАДІОНУКЛІДНОЇ НЕБЕЗПЕЧНОСТІ ТЕРИТОРІЙ

Статистична обробка даних, одержуваних під час проведення різного виду експериментів вимагає перевірки ступеня достовірності одержуваних результатів, правильності їх узагальнення та виявлення закономірностей [19]. Зростає роль математичних методів також і в екологічних дослідженнях.

Уявлення про сучасні інформаційні технології з їх можливостями оцінювання та прогнозування різних залежностей та побудови математичних моделей необхідні для вирішення завдань у галузі медичної екології, демографічних процесів, стану здоров'я. До найпопулярніших у сфері медичної екології методів багатofакторного аналізу даних можна віднести різні типи регресійного аналізу.

Для дослідження залежностей одних ознак від інших під час аналізу медичних і біологічних даних найчастіше використовують різні види математичних моделей. Побудова регресійних моделей у біомедичних дослідженнях дозволяє оцінити спрямованість, силу, вид зв'язку, прогнозувати значення.

Відомо, що регресійний аналіз базується на низці досить жорстких передумов, з яких 3 найбільш важливі:

- 1) результати спостережень повинні бути незалежними випадковими величинами і часто бути нормально розподіленими;
- 2) вибіркові оцінки спостережень би мало бути однорідні, тобто. не повинні залежати від величини результатів спостережень;
- 3) помилки у визначенні незалежних змінних мають бути зневажливо малі порівняно з помилкою у визначенні величини результатів спостережень.

Однак багато хто з них не завжди може бути виконаний, і ніде немає вказівок на те, до чого призводить порушення цих вимог при використанні стандартних статистичних програм [20].

При вивченні логістичної регресії досліджується взаємозв'язок між бінарною (дихотомічною) змінною відгуком (залежною змінною) та будь-якими незалежними змінними (кількісний, номінальний, ранговий предиктор). У цьому випадку з'являється можливість отримати можливість прогнозувати приналежність до тієї чи іншої групи для кожного випадку, що вивчається в залежності від відомих змінних-предикторів.

При побудові залежності ми можемо спрогнозувати: у скільки разів зросте ймовірність попадання у потрібну групу («Безпечно») залежна змінна (Y) за зміни величини аналізованих незалежних змінних (X).

У більшості досліджень, в яких ознака, що вивчається, є дихотомічною величиною, логістичний регресійний аналіз є одним з найпопулярніших множинних методів обробки даних. Математично це можна записати як рівняння виду:

$$z = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 \dots b_nX_n. \quad (2.1)$$

Тут залежна змінна Y не є безперервною величиною, а приймає лише два можливі значення. Зазвичай одиницею в цьому випадку є здійснення будь-якої події (успіх), а нулем – відсутність його реалізації (неуспіх). Середнє значення Y , позначене через P , є частка випадків, у яких Y набуває значення 1. Математично це виражається як:

$$P(Y_i) = 1/(1 + e^{-z}), \quad (2.2)$$

де $z = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 \dots b_nX_n$;

$P(Y)$ – імовірність виникнення події Y (імовірність приналежності випадку до певної категорії);

e – основа натурального логарифму (~ 2.72).

У цьому випадку необхідно оцінювати величину P та визначати фактори (незалежні змінні X_i (безперервні, рангові), які впливають на змінну Y . Кожен предиктор (X_1 - X_n) має власний коефіцієнт (b_1 - b_n).

У логістичній регресії для визначення наскільки модель відповідає даним, використовується (-2LL статистика), яка показує кількість інформації, що залишилася після побудови моделі (великі числа вказують на моделі, які погано підходять для даних).

Базова модель логістичної регресії – де найбільша частота. Число ступенів свободи (df) = $k_n - k_b$. Потім кожна наступна модель, що розраховується, порівнюється з цією моделлю за допомогою коефіцієнта χ^2 для (-2LL статистики):

$$\chi^2 = 2[LL(\text{нова}) - LL(\text{базова})]. \quad (2.3)$$

У логістичній регресії оцінка якості моделі проводиться за допомогою критерію відношення правдоподібності (в англійській літературі – Log-likelihood (-2LL)), яка також вказує наскільки добре модель відповідає емпіричним даним.

Для оцінки предикторів у логістичній регресії використовується критерій Вальда (Wald). При перевірці нульової гіпотези, якщо $b \neq 0$, це означає, предиктор впливає на здатність моделі прогнозувати результат. Критерій Walda може збільшувати ймовірність помилки II типу за більших значень коефіцієнтів регресії. Отримані коефіцієнти предикторів інтерпретують через поняття «шанс». Шанси на те, що подія відбудеться, дорівнюють відношенню ймовірності того, що подія відбудеться ($P(Y)$) до ймовірності того, що подія не відбудеться ($1-P(Y)$):

$$\text{Шанси(Odds)} = P(Y)/(1 - P(Y)). \quad (2.4)$$

Аналіз даних будемо проводити за допомогою бінарної логістичної регресії, під час якого необхідно виявити являються ті чи інші фактори «Безпечними». В якості даних будуть застосовуються результати вимірювань природних, техногенних та антропогенних факторів радіонуклідної небезпечності. Ці виміри проводилися дослідницькою групою та представлені в додатку А. Аналіз даних проводили за допомогою програмного забезпечення IBM SPSS Statistics.

Значенню рівня екологічної безпечності території присвоєно коди: 1 – «Безпечно для людини та довкілля», 2 – «Небезпечно для людини та довкілля».

Як метод використання змінних у обчисленнях попередньо встановлений метод Вкладення, при якому до розрахунку одночасно залучаються всі змінні оголошені коваріатами. Альтернативою тут є прогресивна та зворотна селекція.

Провівши розрахунок було отримано результати які приведені в табл. 2.1-2.2.

Таблиця 2.1 – Універсальні критерії коефіцієнтів моделі

Показник	Хі-квадрат	ст.св.	Значимість, р
Крок	55,452	4	0,0001
Блок	55,452	4	0,0001
Модель	55,452	4	0,0001

Таблиця 2.2 – Зведення для моделі

-2 Log- правдоподібність	R-квадрат Кокса та Шелла	R-квадрат Нейджелкерка
0,0001	0,750	1,000

Показники, що названі іменами Кокса та Шелла і Нейджелкерка, є заходами визначеності. Вони вказують на ту частину дисперсії, яку можна

пояснити за допомогою логістичної регресії. Міра визначеності за Коксом і Шеллом має той недолік, що значення 1 є теоретично недосяжним; цей недолік усунений завдяки модифікації цього заходу методом Нейджелкерка.

Далі наводиться класифікаційна таблиця 2.3, в якій показники приналежності до групи (1 = Безпечно для людини та довкілля, 2 = Небезпечно для людини та довкілля) протиставляються передбаченим на основі розрахованої моделі.

Таблиця 2.3 – Таблиця класифікації

Спостережені		Передбачені		
		Рівень екологічної безпеки території		Відсоток правильних
		Безпечно для людини та довкілля	Небезпечно для людини та довкілля	
Рівень екологічної безпеки території	Безпечно для людини та довкілля	19	1	95,0
	Небезпечно для людини та довкілля	2	18	90,0
Загальна відсоткова частка				92,5

З таблиці можна дійти висновку, що із загальної кількості спостережень, рівного 40, тестом були визнані безпомилково 19 – Безпечно для людини та довкілля та 18 – Небезпечно для людини та довкілля. Загалом, правильно було розпізнано 37 випадків із 40, що становить 92,5 %.

В кінці розрахунку отримано результати про розраховані коефіцієнти та перевірку їх значущості, які наведені в табл.2.4.

Таблиця 2.4 – Змінні у рівнянні

Змінні у рівнянні	Коефіцієнт регресії В	Значимість за критерієм Вальда, р
Вміст урану в ґрунтах, % 10^{-4}	34,498	0,0001
Вміст урану в підземних та/ або поверхневих водах, г/л 10^{-6}	0,085	0,0001
Вміст торію у пилюватій фракції відвалах, г/т	68,099	0,0001
Відстань від зони спостереження гірничодобувної промисловості, км	-53,516	0,0001
Константа	-9,293	0,0001

Перевірка значущості відмінності коефіцієнтів від нуля проводилась за допомогою статистики Вальда, що використовує розподіл хі-квадрат, яка є квадратом відношення відповідного коефіцієнта до його стандартної помилки.

Отримані коефіцієнти: $b_0 = -9,293$, $b_1 = 34,498$, $b_2 = 0,085$, $b_3 = 68,099$, $b_4 = -53,516$. За допомогою цих п'яти значень коефіцієнтів можна кожному значенню Т-типізації розрахувати ймовірність $P(Y)$, за формулою 2.2.

Розрахована ймовірність $P(Y)$ завжди вказує на виконання передбачення, яке відповідає більшому з двох кодів залежних змінних (рис.2.1). Отже, використовуючи отриману модель, можна розраховувати, за іншими значеннями

Для того щоб візуалізувати ці дві метрики — було створена ROC-крива, що є графіком, основною метою якого є визначення та порівняння чутливості та специфічності досліджуваної моделі. У класичному вигляді ROC-аналіз дозволяє розділити безліч об'єктивно існуючих альтернатив на два класи. При використанні кількісних даних ROC-аналіз дозволяє встановити числовий поріг, при якому помилка віднесення об'єкта дослідження до конкретної досліджуваної групи буде прагнути до мінімуму. Цей поріг і є найбільш оптимальною точкою відсікання.

ROC-крива є графіком залежності значень чутливості від 1-специфічності при зміні значення точки відсічення від 0 до 1. На рис.2.2 представлена ROC-крива розрахованої моделі.

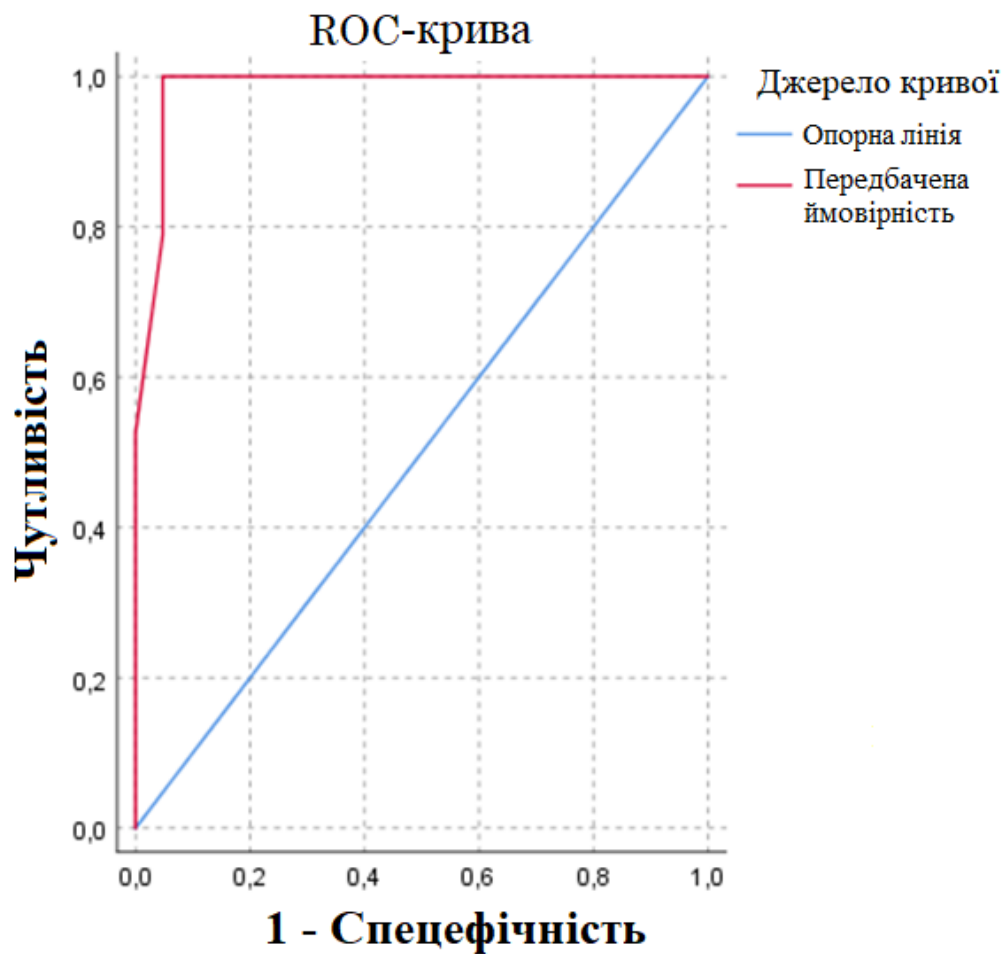


Рисунок 2.2 – ROC-крива розрахованої моделі

Модель з високою чутливістю та високою специфічністю матиме ROC-криву, яка охоплює верхній лівий кут графіка. Модель з низькою чутливістю та низькою специфічністю матиме криву, близьку до діагональної лінії під кутом 45 градусів.

Виходячи з графіку можна дійти висновку, що ROC-крива (червона лінія) охоплює верхній лівий кут графіка, що вказує на те, що модель добре передбачає, чи безпечними являються ті чи інші значення.

Площа під кривою дає уявлення у тому, наскільки добре модель здатна розрізняти позитивні і негативні результати. Площа може змінюватись від 0 до 1. Чим вище площа, тим краще модель правильно класифікує результати.

В таблиці 2.5 наведені значення площі під кривою. В передбаченій ймовірності є принаймні один зв'язок між групою позитивного стану та групою негативного актуального стану.

Таблиця 2.5 – Площа під кривою

Змінні результати перевірки: Передбачена ймовірність				
Область	Стандартна помилка	Асимптотичне знач.	Асимптотичний 95% довірчий інтервал	
			Нижня межа	Верхня межа
0,984	0,018	0,001	0,949	1,000

Як видно, що площа під кривою для цієї конкретної моделі логістичної регресії становить 0,984, що є надзвичайно високим показником. Це вказує на те, що модель добре передбачає, чи безпечними являються ті чи інші значення.

В таблиці 2.6 координати ROC-кривої відображаються чутливість та 1 – специфічність ROC-кривої для різних точок відсічення.

Якщо припустити, що точка відсікання дорівнює 0,181, це означає, що будь-яке значення, менше за нього є безпечним для людини та довкілля, а будь-

яке значення, яке більше за 0,181 – небезпечне для людини та довкілля.

Якщо використовувати це як точку відсічки, наша чутливість дорівнюватиме 100 % (оскільки кожне значення, менше за 0,181, дійсно являються безпечними для людини та довкілля), а наша 1-специфічність становитиме 4,8 %.

Таблиця 2.6 – Координати ROC-кривої

Змінні результати перевірки: Передбачена ймовірність		
Правильно, якщо більше чи дорівнює	Чутливість	1 – Специфічність
0,000	1,000	1,000
0,181	1,000	0,048
0,543	0,895	0,048
0,872	0,789	0,048
0,980	0,526	0,000
0,997	0,316	0,000
1,000	0,000	0,000

Наведена таблиця дозволяє нам побачити чутливість і 1-специфічність для кожної потенційної порогової точки.

Таким чином, опираючись на досить велике значення площі під кривою, можна говорити про досить якісну прогностичну модель з досить високою чутливістю, яку можна використати, для розрахунку, за іншими значеннями екологічної безпечності території, а значить, використовуючи формули перерахунків можна розрахувати вплив природних радіонуклідів на здоров'я людини.

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ОЦІНКИ НАСЛІДКІВ ВПЛИВУ ПРИРОДНИХ РАДІОНУКЛІДІВ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

3.1 Побудова алгоритму оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини

На основі розробленої математичної моделі визначення радіонуклідної небезпечності територій, розробили алгоритм оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини. Алгоритм буде запрограмовано для автоматизації процесів, і буде застосововано в біотехнічній системі, що розробляється.

На першому етапі проводиться збір інформації за допомогою, наприклад, приладів дозиметрії і радіометрії, також ці данні можуть бути отримані з інших джерел, включаючи бази даних, або ж від дослідницьких груп та центрів. Як варіант це можуть бути результати досліджень працівників, які працюють на АЕС, на підприємствах радіаційної безпеки та ін.

Поточна оцінка загальної кількості працівників, що спостерігаються, - близько 23 млн. по всьому світу, з них близько 10 млн. зазнають впливу радіації від штучних та природних джерел. Три з чотирьох працівників, що зазнали радіаційного впливу, працюють у сфері медицини, де річна ефективна доза на працівника становить 0,5 мЗв.

Оцінка тенденцій середньої річної ефективної дози на працівника показує збільшення впливу від природних джерел, здебільшого через ведення гірничих робіт, та зниження в опроміненні від штучних джерел через успішне застосування заходів щодо радіаційного захисту.

Другий етап включає в себе кодування якісних показників радіонуклідної небезпечності.

На третьому етапі проводиться визначення факторів радіонуклідної небезпечності території, за отриманими даними.

Четвертий етап являється ключовим. На цьому етапі проводиться розрахунок ймовірності радіонуклідної небезпечності територій.

Далі йде блок рішення, якщо ймовірність $P(Y) < 0.5$, то показники є безпечними для людини і тоді наступним є автоматично етап формування звіту. Якщо ймовірність $P(Y) > 0.5$, то це небезпечно для людини, наступним етапом йде процес визначення оцінки наслідків впливу, який має ряд необхідних розрахунків.

Ступінь радіаційного ураження біологічних об'єктів визначається дозою опромінення. Тому основним із завдань оцінювання наслідків впливу природних радіонуклідів є визначення доз опромінення живих організмів.

Перш за все йде процес визначення експозиційної дози випромінювання. Вона характеризує іонізаційну здатність іонізуючого випромінювання в повітрі. Застосовується позасистемна одиниця – рентген – Р. Рентген – така кількість енергії рентгенівського або гамма-випромінювання, яка в 1 см^3 повітря при атмосферному тиску 760 мм рт. ст. і температурі 0°C утворює $2,08 \cdot 10^9$ пар іонів. Рентген має похідні одиниці – мР, мкР, кР, МР.

У Міжнародній системі одиниць (СІ) за одиницю експозиційної дози прийнятий кулон на кілограм (Кл/кг), тобто таку кількість енергії рентгенівського і гамма-випромінювання, яка в 1 кг сухого повітря утворює іони, що несуть сумарний заряд в один кулон електрики кожного знака:

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}; 1 \text{ Кл/Кг} = 3876 \text{ Р}. \quad (3.1)$$

Потім розраховується поглинена доза випромінювання, для визначення ефекту впливу іонізуючого випромінювання в біологічних тканинах, який залежить від величини поглиненої енергії, застосовується позасистемна одиниця рад (rad – radiation absorbent dose) – це така доза, при якій в 1 г маси речовини, що опромінюється поглинається енергія будь-якого виду ІВ рівна 100 ерг (1 рад

= 100 ерг/г). Рад має похідні одиниці – частинні і кратні: мрад, мкрад, крад, Мрад і ін.

Поглинену дозу в радах визначають розрахунковим шляхом за формулою:

$$D_{\text{погл.}} = D_{\text{десп.}} \times K, \quad (3.2)$$

де K – коефіцієнт поглинання, для повітря $K = 0,88$, для кісткової тканини $K = 2-5$, для жирової тканини $K = 0,6$, для живого організму в цілому $K = 0,93$.

Визначення відносної біологічної ефективності іонізуючого випромінювання є досить важливим, адже однакові дози різних видів іонізуючого випромінювання діють на організми по-різному. Це обумовлене неоднаковою щільністю іонізації – питомою іонізацією.

Чим вище питома іонізація, тим більше ефект біологічної дії опромінення. Тому одна і та ж поглинена доза різних видів ІВ призводить до різного ступеня ураження організму. У зв'язку з цим в радіобіології введено поняття відносної біологічної ефективності (ВБЕ) або коефіцієнта якості (КЯ) або вагові коефіцієнти іонізуючих випромінювань.

Для оцінки біологічної ефективності різних видів випромінювання введено поняття еквівалентної або біологічної дози ($D_{\text{екв.}}$ та $D_{\text{біол.}}$):

$$D_{\text{екв(біол)}} = D_{\text{погл}} \times \text{ВБЕ (КЯ)}. \quad (3.3)$$

Позасистемна одиниця еквівалентної дози – біологічний еквівалент рентгена – бер ($1 \text{ бер} = 1 \times 10^{-2} \text{ Дж/кг}$). Одиниця бер – це така доза будь-якого виду іонізуючого випромінювання, при якій в біологічному середовищі створюється такий біологічний ефект, як при дозі рентгенівського або гаммавипромінювання в 1 рад. Дана одиниця має частинні і кратні величини – мбер, мкбер, кбер, Мбер. В системі СІ одиниця еквівалентної дози – зіверт (Зв). $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер}$.

Якщо біологічний об'єкт опромінюється різними видами випромінювання одночасно (змішане джерело ІВ), то еквівалентна доза опромінення дорівнює сумі поглинених доз від кожного виду випромінювання, помноженої на середній коефіцієнт якості (КЯ або ВБЕ).

Різні органи і тканини мають різну чутливість до випромінювання. Для випадків нерівномірного опромінення різних органів або тканин людини введено поняття ефективної еквівалентної дози ($D_{\text{ефек}}$).

$$D_{\text{ефек}} = \sum w \times D_{\text{екв}}, \quad (3.4)$$

де $D_{\text{ефек}}$ – ефективна еквівалентна доза;

w – коефіцієнт радіаційного ризику;

$D_{\text{екв}}$ – середня еквівалентна доза в органі чи тканині.

Одиницею ефективної еквівалентної дози є бер і Зв (зіверт).

Крім перерахованих понять, в радіаційній безпеці широко використовуються терміни річної та колективної ефективної або еквівалентної дози.

Річна ефективна (еквівалентна) доза – це сума ефективної (еквівалентної) дози зовнішнього опромінення, отриманої за календарний рік, і очікуваної дози внутрішнього опромінення, зумовленої надходженням за цей же рік в організм радіонуклідів.

Колективна ефективна доза – це міра колективного ризику виникнення стохастичних ефектів опромінення, що дорівнює сумі індивідуальних колективних доз; вона вимірюється в людино-зівертах (люд \times Зв).

Наступним етапом йде розрахунок внутрішнього опромінення від перорального надходження радіонуклідів з їжею, водою та заковтування радіонуклідів.

Розрахунок ефективної дози ґрунтується на середніх оцінках активності радіонуклідів у продуктах харчування людини й у воді, за якими, з огляду на

раціон, оцінюють річне надходження радіонуклідів в організм і множать його на відповідні дозові коефіцієнти для кожного радіонукліда, залежні від віку людини.

Для очікуваної ефективної дози внутрішнього опромінення підсумовують ефективні дози від усіх радіонуклідів, що знаходяться у повітрі та/чи в продуктах харчування. Розрахунок доз опромінення населення за рахунок харчового раціону проводиться за формулою:

$$E_{ing} = \sum_1^n I_n * A_n^i * B_{ing}^i * p_n^i, \quad (3.5)$$

де E_{ing} – очікувана ефективна доза (Зв);

n – кількість основних продуктів харчування і питної води, з яких складається харчовий раціон, що споживає людина на протязі року;

B_{ing}^i – дозовий коефіцієнт, який дорівнює ефективній дозі (Зв) при пероральному споживанні 1 Бк i -го радіонукліда в залежності від значень коефіцієнтів всмоктування в кишечнику та віку людини (табл. 3.1);

I_n – річне споживання n -го продукту, кг;

A_n^i – питома активність i -го радіонукліду в n -му продукті, Бк/кг;

p_n^i – втрати i -го радіонукліда при кулінарній обробці n -го продукту (відношення питомої активності i -го радіонукліду в n -м продукті харчування до питомої активності в початковій сировині).

Дані щодо кількості продуктів харчування, що споживає на протязі року населення регіону, можна отримати в регіональних управліннях статистики, а для дітей також в школах-інтернатах і дитячих дошкільних закладах методом аналізу меню-розкладок. Референтні об'єми питної води, що споживається протягом року, для дорослих складають 800 л, для дітей 10 років – 500 л, 1 року – 260 л і 3-місячних дітей – 220 л.

Таблиця 3.1 – Концентрація пилу, відношення об'ємної концентрації радіонуклідів до щільності забруднення ґрунту (R') у зоні дихання персоналу при проведенні сільськогосподарських робіт

Вид сільськогосподарських робіт	Концентрація пилу, мг/м ³	$R' \cdot 10^{-9}$, м ⁻¹
Оранка ґрунту	0,3 – 80	5 – 1000
Культивація ґрунту	1,6 – 50	30 – 1000
Внесення добрив	20	200 – 300
Укатка ґрунту	1,7	20
Посадка картоплі	10 – 300	100 – 4000
Внесення добрив	20 – 170	500 – 5000
Міжрядна обробка	61	2000
Збирання жита	14 – 20	30 – 300
Збирання соломи	6	50

Далій йде визначення внутрішнього опромінення від природних радіонуклідів. Присутні в довкіллі природні радіонукліди надходять в організм людини з повітрям, що вдихається, з продуктами харчування і питною водою.

Радіонукліди рядів ²³²Th і ²³⁸U, є найбільш значимими в плані формування дози внутрішнього опромінення людини за рахунок перорального надходження природних радіонуклідів у організм (табл. 3.2).

Сімейства урану і торію є активними гамма випромінювачами в порівнянні з сімейством актинія, потужність дози гамма-випромінювання якого досить невелика.

Таким чином, в радіоактивних сімействах є альфа-, бета- і гамма випромінювачі, причому потужність дози кожного випромінювання в різних сімействах неоднакова.

Таблиця 3.2 – Дозові коефіцієнти B_{ing}^i (Зв/Бк), які дорівнюють очікуваній ефективній дозі (Е, Зв) на одиницю перорального надходження 1 Бк і-го природного радіонукліда в залежності від значень коефіцієнтів всмоктування (f_1) в кишечнику та від віку людини

Радіонуклід	f_1	Вік людини, років				
		1–2	2–7	7–12	12–17	>17
^{232}Th	0,0004	$6,1 \cdot 10^{-07}$	$3,7 \cdot 10^{-08}$	$2,0 \cdot 10^{-08}$	$1,1 \cdot 10^{-08}$	$8,7 \cdot 10^{-09}$
	0,001	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-08}$	$2,1 \cdot 10^{-08}$	$1,1 \cdot 10^{-08}$	$8,8 \cdot 10^{-09}$
^{235}U	0,02	$1,7 \cdot 10^{-08}$	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$8,4 \cdot 10^{-08}$	$6,8 \cdot 10^{-08}$	$6,2 \cdot 10^{-08}$
	0,05	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$9,1 \cdot 10^{-07}$	$7,0 \cdot 10^{-07}$	$6,0 \cdot 10^{-07}$	$5,6 \cdot 10^{-07}$
^{238}U	0,02	$6,7 \cdot 10^{-08}$	$4,9 \cdot 10^{-07}$	$3,7 \cdot 10^{-07}$	$3,1 \cdot 10^{-07}$	$2,9 \cdot 10^{-07}$
	0,05	$1,3 \cdot 10^{-07}$	$9,5 \cdot 10^{-07}$	$7,2 \cdot 10^{-07}$	$6,1 \cdot 10^{-07}$	$5,7 \cdot 10^{-07}$

Одними з джерел природної радіації є ^{232}Th (близько 0,02 мЗв/рік) і ^{238}U (близько 0,15 мЗв/рік) з дочірніми продуктами розпаду. Оцінку очікуваної ефективної дози (Е, Зв) опромінення людини при пероральному надходженні природних радіонуклідів проводять так, як і для техногенних радіонуклідів. В табл. 3.2 приведені дозові коефіцієнти (B_{ing}^i , Зв/Бк) в залежності від значень коефіцієнтів всмоктування (f_1) в кишечнику і-го природного радіонукліду та від віку людини. Радіонукліди ряду ^{232}Th і ^{238}U слабо переходять у рослинність і продукцію тваринництва, тому перорально надходять в організм людини переважно в результаті заковтування с частинками ґрунту і слабо всмоктуються в ШКТ.

Потім йде оцінка доз внутрішнього опромінення на основі вимірювань вмісту радіонуклідів у тілі людини. Доза внутрішнього опромінення за певний час може бути розрахована, виходячи з вмісту радіонуклідів у організмі та їх розподілу по органах і тканинах. Вміст радіонуклідів у тілі та окремих органах

визначається за допомогою методів прямої і опосередкованої дозиметрії інкорпорованих радіонуклідів. Перший метод оснований на реєстрації випромінювання з тіла інкорпорованих радіонуклідів за допомогою лічильників випромінювання людини (ЛВЛ). Метод опосередкованої дозиметрії базується на визначенні вмісту радіонуклідів у організмі за активністю, що виводиться з організму з сечею, екскрементами, повітрям, що видихається і т.д.

Середня річна ефективна доза внутрішнього опромінення (E_{int}^i , мЗв/рік), яка визначається на основі ЛВЛ-вимірювань середнього вмісту i -го радіонукліду в тілі людини, розраховується за формулою:

$$E_{int}^i = k_d^i(Q_i/M), \quad (3.6)$$

де k_d^i – дозовий коефіцієнт для i -го радіонукліду;

Q_i – вміст i -го радіонукліду в організмі людини за даними ЛВЛ-вимірювання, кБк;

M – маса тіла людини, кг.

Потім відбувається розрахунок індивідуального ризику захворюваності.

Для оцінки ризику захворюваності від загальної дози використовується лінійна залежність між еквівалентною дозою ($D_{ек}$), отриманою індивідумом, і радіаційним ризиком (r), під яким розуміють імовірність ініціювання стохастичних ефектів (виникнення фатального і не фатального раку та серйозних спадкоємних ефектів від радіаційного опромінення) та визначається як:

$$r = r_e * D_{ек} \quad (3.7)$$

де r_e – коефіцієнт пропорційності, що визначається як нахил кривої дози – ефект, ϵ – коефіцієнтом ризику. Він являє собою ймовірність виникнення

стохастичних ефектів, що відносяться до одиниці дози. Коефіцієнти ризику критичних органів наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Коефіцієнти ризику деяких критичних органів

Захворювання	Органи	Коефіцієнт ризику
Злоякісні пухлини	Всі органи й тканини	1,25E-04
Лейкемія	Все тіло, червоний кістковий мозок	2,00E-05
Пухлини легенів	Легені	2,00E-05
Спадкоємні дефекти	Статеві залози	4,00E-05
Пухлини інших органів і тканин	Всі інші органи й тканини	5,00E-05
Пухлини кісткової тканини	Кістяк	5,00E-06
Рак молочної залози	Молочна залоза	2,50E-05
Рак щитоподібної залози	Щитоподібна залоза	5,00E-06

Далі знаходиться ймовірність або ризик смерті від радіаційного опромінення. Індивідуальна ймовірність чи ризик смерті r_T від злоякісного новоутворення при середньому значенні еквівалентної дози $(H)_T$ даному органі або тканині:

$$r_T = c_T (H_{cp})_T \quad (3.8)$$

Відповідно сумарний ризик при рівномірному опроміненні всього тіла (всі основні групи органів або тканин, зазначені у табл.3.4) у дозі H_E :

$$r_E = \sum c_T (H_{cp})_T = c_E H_E, \quad (3.9)$$

звідси:

$$H_E = \sum c_T / c_E = (H_{cp})_T, \quad (3.10)$$

ввівши позначення $c_T / c_E = W_T$, одержуємо:

$$H_E = \sum W_T = (H_{cp})_T. \quad (3.11)$$

Відношення $c_T / c_E = W_T$ визначає зважений ризик опромінення даного органу по відношенню до виваженого ризику опромінення всього організму, тобто представляє відношення ймовірності виникнення стохастичних ефектів внаслідок опромінення будь-якого органу чи тканини до ймовірності їх виникнення при рівномірному опроміненні всього тіла. Параметр W_T називають вагомим фактором або ваговим множником. При цьому $\sum W_T = 1$.

Величина H_E , що визначається по формулі 3.10 названа ефективною еквівалентною дозою та використовується в радіаційній безпеці як міра стохастичних ефектів при опроміненні людини.

При рівномірному опроміненні всього організму еквівалентна доза в кожному органі або тканині одна і та ж дорівнює H_E . Таким чином, ефективна еквівалентна доза при нерівномірному опроміненні органів і тканин організму дорівнює такій еквівалентній дозі при рівномірному опроміненні, при якій ризик несприятливих наслідків буде таким же, як і при даному нерівномірному опроміненні.

З повітрям при вдиханні до організму можуть надходити гази, пари і зважені в повітрі рідкі та тверді речовини (аерозолі). За розміром частинок аерозолі поділяють на пил, туман і дим. Діаметр частинок пилу – більше 10 мкм, туману – 10–0,1 мкм, диму – 0,1–0,001 мкм. За фізико-хімічними властивостями аерозолі поділяють на заряджені і незаряджені. За однорідністю розмірів частинок їх поділяють на монодисперсні та полідисперсні. Частина аерозолів, які

відклалися в легенях буде залежати від фізико-хімічних властивостей речовини. Розчинні сполуки радіоактивних речовин швидко всмоктуються в дихальні шляхи і надходять у кров. Нерозчинні – осідають на стінках органів дихання, потім виділяються із легень за допомогою слизу і епітелію бронхів.

Таблиця 3.4 – Вагомі фактори W_T та ймовірність смертельних наслідків c_T від злоякісних пухлин та спадкових дефектів внаслідок опромінення на 1 особу при еквівалентній дозі 1 Зв у даному органі

Орган чи тканина	Захворювання	$c_T, 10^{-2} 1/(\text{люд.}\cdot\text{Зв})$	W_T
Гланди	Спадкові дефекти	0,40	0,25
Молочна залоза	Рак	0,25	0,15
Червоний кістковий мозок	Лейкемія	0,20	0,12
Легкі	Рак	0,20	0,12
Щитовидна залоза	Рак	0,05	0,03
Поверхня кістки	Злоякісні новоутворення	0,05	0,03
Усі інші органи	Злоякісні новоутворення	0,50	0,30
Всього:		1,65	1,00
З них злоякісні пухлини		1,25	

В об'єкті, що опромінюється, поглинена доза випромінювання розподіляється нерівномірно. На його поверхні ($d=0$) поглинена доза формується лише вторинними зарядженими частинками, які утворилися при поширенні в біологічній тканині опосередковано іонізуючого випромінювання (Точка А на рис 3.1.).

Дуже дрібні частинки можуть адсорбуватися на поверхні клітин м'яких тканин та в істотній мірі депонуватися в кістковій тканині. Торій як і уран потрапляє в організм здебільшого з водою та їжею, з цього випливає що, міграційна здатність торію в природних водах сильно обмежена.

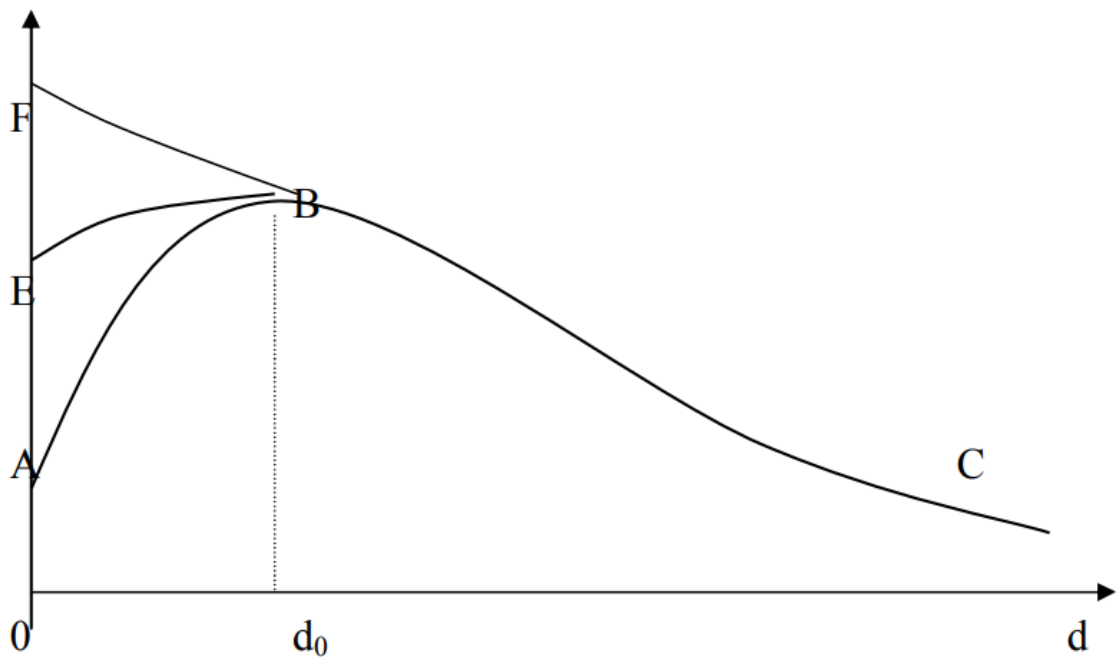


Рисунок 3.1 – Розподіл поглиненої дози за глибиною біологічною тканини

Зі збільшенням глибини проникнення іонізуючого випромінювання d проходить збільшення вторинного випромінювання та ослаблення первинного випромінювання. Перший процес зазвичай переважає до деякої глибини d_0 , а після глибини d_0 -другий процес. На глибині d_0 поглинена доза має максимальне значення (точка B на рис.3.1). Якщо у первинному випромінюванні присутні також заряджені частинки, то поглинена доза буде зростати слабше (крива EBC рис.3.1). Для β -часток поглинена доза з глибиною спадає (крива FBC рис. 3.1).

Ступінь впливу випромінювання при опроміненні прийнято характеризувати максимальним значенням дози опромінення у тілі людини.

Використання цих значень доз виключає перевищення допустимої дози у будь-якій точці тіла людини.

Еквівалентна доза або ефективна еквівалентна доза є індивідуальними критеріями небезпеки, зумовленими іонізуючим випромінюванням. Ці величини є індивідуальні дози. На практиці, особливо при широкому використанні атомної енергії, виникає необхідність оцінювати міру очікуваного ефекту при опроміненні великого контингенту людей – персоналу чи населення.

Для цього використовується величина – ефективна колективна доза, що визначає повний вплив на популяцію:

$$S = \sum_{i=1}^{\infty} H_{Ei} N_i \quad (3.12)$$

де H_{Ei} – середня ефективна еквівалентна доза на i -ту підгрупу популяції;

N_i – число осіб у підгрупі, які отримали еквівалентну дозу H_{Ei} . Одиницею виміру колективної дози в СІ є людино-зіверт (люд-Зв), позасистемна одиниця – людино-бер (люд-бер).

Потім відбувається визначення нагромадження радіонуклідів в органах і тканинах, яке пов'язане з фізико-хімічними властивостями ізотопів. Для оцінки швидкості нагромадження використовують поняття кратність нагромадження, під яким розуміють відношення отриманої активності радіонуклідів в органах і тканинах до їхнього щодобового надходження в організм. Кратність нагромадження в різних видів організмів кожного з радіонуклідів різна. З віком організму кратність нагромадження радіонуклідів знижується. Темпи всмоктування й депонування ізотопів у тканинах прямо пропорційні [1]. Кратність нагромадження F визначають за формулою:

$$F = C m / g, \quad (3.13)$$

де C – питома активність радіонуклідів в органах і тканинах, Бк/кг;

m – маса органу або тканини, кг;

g – активність радіонукліда, яка щодоби надходить в організм, Бк.

При тривалому надходженні в організм – швидкість їхнього нагромадження змінюється. Спочатку воно відбувається інтенсивно, а потім, у міру насичення тканин, поступово сповільнюється, і нарешті настає рівновага між знову вступаючими радіонуклідами й виведеними. Якщо організм стане одержувати більшу кількість радіонуклідів, то вони знову почнуть накопичуватися до встановлення нової рівноваги, але вже на більш високому рівні. Навпаки, якщо тварини стануть приймати з кормом меншу кількість радіонуклідів, то вони почнуть виводитися з організму. Це явище має найважливіше практичне значення для одержання придатної в їжу продукції на забруднених територіях [1].

Радіоактивні речовини, потрапивши в організм, всмоктуються в кров і лімфу та разносяться по різним органам та тканинам. Знання закономірностей розподілу, особливостей обміну та депонування радіонуклідів, їх перерозподіл в організмі має виключно важливе значення, так як дає уявлення про переважне променеве ураження тих чи інших органів, дає змогу зрозуміти механізм дії радіонуклідів, встановити критичний орган, оцінити величину його опромінення та прогнозувати променеве ураження. Одні радіонукліди розподіляються в організмі рівномірно по всіх органах та тканинах, інші ж виявляють тропність (спрямованість) до певних органів, в яких і накопичуються (критичні органи).

Далі проходить розрахунок видалення радіонуклідів з організму.

Радіонукліди беруть участь в обміні речовин за принципом, який аналогічний тому, як це відбувається для їхніх стабільних ізотопів: вони виводяться з організму через ті ж самі видільні системи, що і їхні стабільні носії.

Виділення радіонуклідів: 1) через шлунковокишковий тракт і бруньки, 2) через легені й шкіру, 3) із плодом і молоком (у вагітних і лактуючих тварин).

Швидкість виведення радіонуклідів залежить від:

- швидкості обміну речовин. Найбільш швидко виводяться радіонукліди, депоновані в ті тканини, де швидкість обміну речовин висока;
- стану радіонуклідів у тканинах, тобто чи перебувають вони у вільному стані або пов'язані із тканевими структурами;
- тропності радіонуклідів до тканин і органів;
- виду хімічної сполуки, шляху й тривалості надходження радіонуклідів в організм;
- фізико-хімічних властивостей радіонукліда – основний фактор, що визначає шляхи виведення радіонуклідів з організму;
- тривалості надходження радіонукліда (однократне або хронічне) [1].

Оскільки різні тканини організму по-різному зв'язують той самий радіонуклід, то й швидкість виведення із цих тканин буде різна. Час, протягом якого вихідна кількість радіонукліда зменшиться вдвічі, називають ефективним періодом напіввиведення ($T_{\text{еф}}$). Зниження концентрації радіоізотопів відбувається за рахунок двох основних факторів: фізичного їхнього розпаду й дійсного виведення. Значення ефективного періоду напіввиведення обчислюють за формулою:

$$T_{\text{еф}} = T_{\text{фіз}} \cdot T_{\text{біол}} / (T_{\text{фіз}} + T_{\text{біол}}), \quad (3.14)$$

де $T_{\text{фіз}}$ – період напіврозпаду радіонукліда;

$T_{\text{біол}}$ – період його біологічного напіввиведення.

Ефективний період напіввиведення довго живучих ізотопів визначається в основному біологічним періодом напіввиведення, короткоживучих – періодом напіврозпаду [1].

Описані вище етапи об'єднуються в блоки алгоритму оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини. Його в подальшому можна використати в відповідній біотехнічній системі. Схема алгоритму представлена на рис. 3.2.

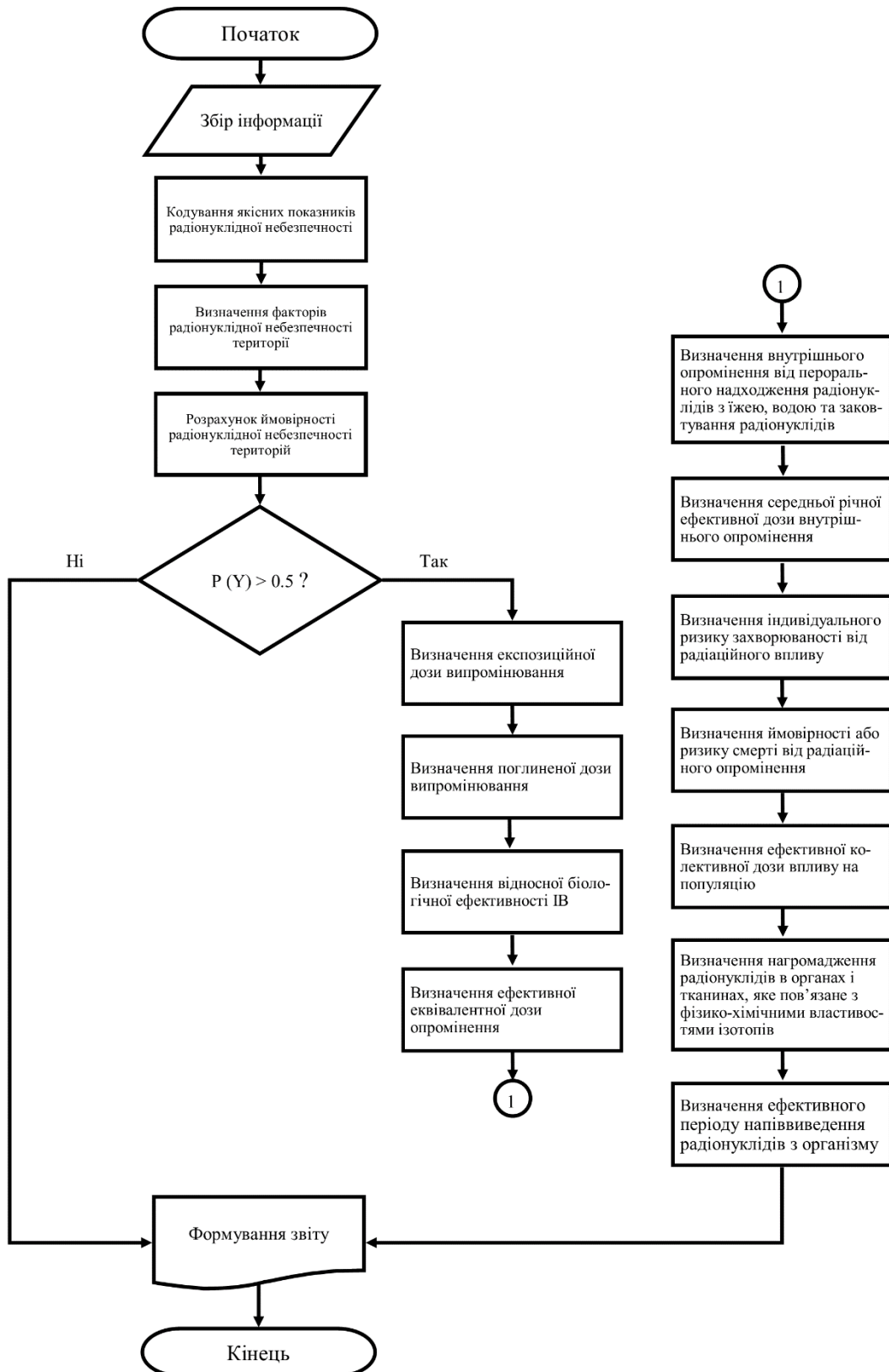


Рисунок 3.2 – Схема алгоритму оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини

3.2 Розробка структурної схеми біотехнічної системи оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини

Діагностичні біотехнічні системи досліджують фізіологічні системи організму за допомогою засобів реєстрації біомедичних сигналів та засобів визначення діагностичних показників з метою отримання найбільш повної інформації про стан організму пацієнта.

Інтеграція засобів контролю фізіологічних даних з комп'ютерними інформаційними системами дозволяє створювати ефективні засоби функціональної діагностики.

Біотехнічна система оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів, що розробляється, матиме ергатичний тип, та високий ступінь автоматизації за рахунок розробленого алгоритму. Незважаючи на це в даній ергатичній системі, на дослідника покладаються важливі функції управління системою, особливо у випадках виникнення нештатних і аварійних ситуацій Тут виявляються суб'єктивні чинники властиві людському організму: можливість паралельного аналізу подій, інтегрування розрізнених сигналів у єдине ціле, евристичні шляхи прийняття складних рішень.

Дослідник розглядається в даній ергатичній БТС як ланка системи, що виконує функції керування технічними ланками при кібернетичному рівні взаємодії ланок. Зокрема на другому етапі кодування якісних характеристик та визначення факторів радіонуклідної небезпечності.

В склад БТС входять:

- 1) досліджуваний об'єкт;
- 2) скануючий пристрій;
- 3) дослідник;
- 4) блок інтерфейсу;
- 5) персональний комп'ютер (ПК).

На рис. 3.3 представлена БТС оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини.

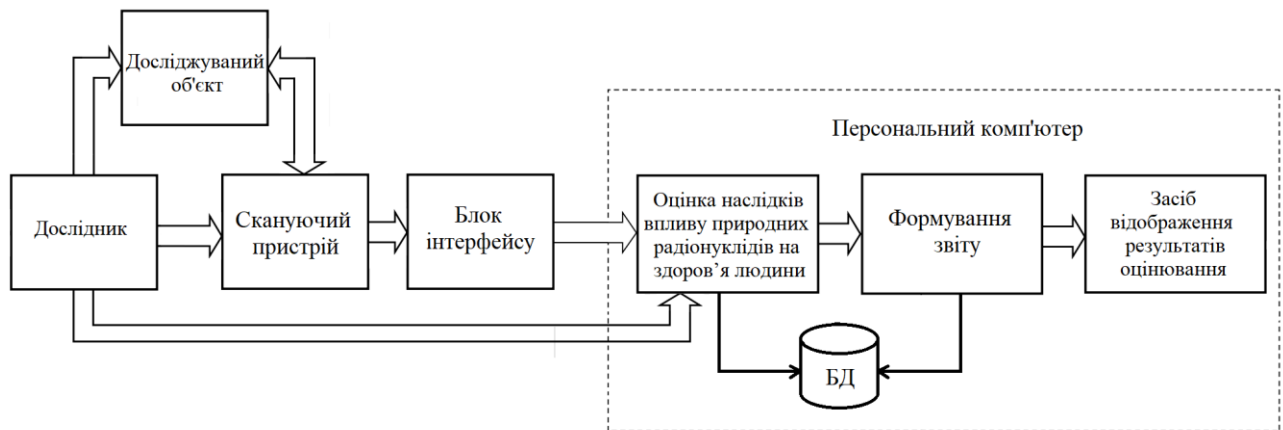


Рисунок 3.3 – БТС оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини

Як видно з рис. 3.3 модуль персонального комп'ютера поділений на наступні блоки:

- розроблений алгоритм оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини;
- формування звіту;
- засіб відображення результатів оцінювання;
- база даних.

Ефективність БТС ергатичного типу визначається термінах технічної ланки. В даному випадку ефективність системи можна оцінити за якістю перехідного процесу встановлення швидкості руху об'єкта, наприклад, за тривалістю встановлення швидкості руху та помилкою управління або за величиною відстані пройденого об'єктом за час перехідного процесу.

В якості скануючого пристрою пропонується обрати дозиметр для індивідуального контролю, який буде відповідати вимогам до чутливості індивідуальних дозиметрів.

Достовірність вимірів залежить багатьох чинників. При надійній роботі обладнання та коректного калібрування на кінцевий результат впливають також технічні параметри детекторів. При рівних інших технічних та експлуатаційних якостях детекторів найважливіша величина – мінімально детектуюча доза – МДД, яка визначає нижню межу чутливості для прийнятої довірчої ймовірності. Відомо, що при роботі на межі чутливості, помилки визначення доз завжди значно вищі, ніж у середньому по всьому діапазоні реєстрації.

Необхідний час експозиції дозиметрів обернено пропорційний чутливості використовуваних детекторів. Можливість зменшення часу експозиції за умови забезпечення достовірності накопиченої інформації забезпечує ряд не лише технічних, а й організаційно-методичних переваг.

Все це вказує на незаперечні переваги використання індивідуальних дозиметрів з максимальною чутливістю як у технічному, так і організаційно-методичному аспекті.

Також в модулі ПК важливе використання бази даних.

База даних – це набір записів і файлів, організованих особливим чином. Майже всі сучасні системи засновані на реляційній (relational) моделі керування базами даних. Назва «реляційна» зв'язана з тим, що кожен запис у такій БД містить інформацію, що відноситься (related) тільки до одного відокремленого об'єкта.

Процес створення бази даних ґрунтувався на загальній концепції реляційних баз даних та дванадцяти правилах Кодда.

Під час проектування логічної моделі були визначені 9 сутностей, що описують процес оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини та дозволяють зберігати необхідні вхідні дані та розраховані показники у структурованому вигляді. Основними сутностями є «Climatic_factors», «Area»,

«Biological_object», «Foods», «Radionuclide». Сутностями, що необхідні під час процесу оцінки ризику є «Model», «Risk_indicators», «Impact_indicators». Допоміжною сутністю є «Impact_indicators». Для кожної сутності були визначені первинні ключі, що дозволяють вірно ідентифікувати кожен запис та встановити зв'язки типу «один до багатьох» та «багато до одного». Створення взаємозв'язків типу «багато до багатьох» виконувалось шляхом утворення дочірніх сутностей з визначення зовнішніх ключів FK.

До сутності «Biological_object» увійшли такі атрибути:

Id_BO – ключове поле (PK) типу лічильник;

Id_Model – зовнішній ключ числового типу, що поєднує сутності «Model» та «Biological_object»;

Characteristic – короткий опис біологічного об'єкта, на який діє опромінення від природних радіонуклідів символічного типу.

Сутність «Impact_indicators» містить відомості про фактори, що впливають на оцінку наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини. Вона включає в себе наступні атрибути:

Id_Impact_indicators - ключове поле (PK) типу лічильник;

Id_BO - зовнішній ключ числового типу, що поєднує сутності «Impact_indicators» та «Biological_object»;

Annual_eff_dose – значення річної ефективної дози, яка поглинається БО, числового типу;

Absorbed_radiation_dose – поглинена доза випромінювання числового типу;

RBE – значення відносної біологічної ефективності (ВБЕ) числового типу;

BD – загальна біологічна доза числового типу;

Radiation_risk_factor – коефіцієнт радіоційного ризику числового типу;

Collective_effective_dose – колективна ефективна доза, що поглинена числового типу.

Сутність «Radionuclide» містить відомості про природні радіонукліди, що впливають на БО та включає в себе наступні атрибути:

Id_Radionuclide – ключове поле (PK) типу лічильник;

Radionuclide – найменування радіонукліда символного типу;

Half_life_period – значення періоду напіврозпаду радіонукліда числового типу;

Radiation_exposure_dose – значення експозиційної дози випромінювання радіонукліда числового типу;

Effective_elimination_half_life – ефективний період напіввиведення з організму числового типу.

Сутність «Foods» містить відомості про продукти харчування, що культивуються в зоні дослідження, та включає в себе наступні атрибути:

Id_Food – ключове поле (PK) типу лічильник;

Food – назва продукту харчування символного типу.

Сутність «Climatic_factors» містить дані про кліматичні фактори, що можуть впливати на радіаційну небезпечність та включає в себе наступні атрибути:

Id_Cl – ключове поле (PK) типу лічильник;

Average_annual_temperature – середньорічна температура повітря в зоні дослідження числового типу;

Average_annual_rainfall – середньорічна кількість опадів в зоні дослідження числового типу;

Annual_average_windspeed – середньорічне значення швидкості вітру в зоні дослідження числового типу;

Annual_mean_wind_direction – середньорічне значення напрямку вітру в зоні дослідження.

Сутність «Model» є основою для побудови математичної моделі визначення радіонуклідної небезпечності територій та включає в себе наступні атрибути:

Id_Model – ключове поле (PK) типу лічильник;

Id_Area – зовнішній ключ числового типу, що поєднує сутності «Model» та «Area»;

Id_Cl – зовнішній ключ числового типу, що поєднує сутності «Model» та «Climatic_factors»;

U_grunt – вимірне значення вмісту урану в ґрунтах числового типу;

U_voda – вміст урану в підземних та/ або поверхневих водах числового типу;

Th_v_frakcii – вміст торію у пилюватій фракції відвалах числового типу;

Visnovok – відстань від СЗЗ поза зони спостереження ГВП числового типу;

Prognoz – розраховане значення імовірності радіонуклідної небезпечності території, що досліджується, числового типу.

Створена сутність «Risk_indicators» містить інформацію про розраховані показники ризику та складається з наступних сутностей:

Id_Risk – ключове поле (PK) типу лічильник;

Id_BO – зовнішній ключ числового типу, що поєднує сутності «Biological_object» та «Risk_indicators»;

rT – розраховане значення індивідуальної ймовірності (ризик) смерті числового типу;

rE – сумарний ризик при рівномірному опроміненні всього тіла числового типу;

r – розраховане значення ризику виникнення фатального і не фатального раку та серйозних спадкоємних ефектів від радіаційного опромінення числового типу;

Wt – значення зваженого ризику опромінення деякого органу по відношенню до виваженого ризику опромінення всього організму.

На етапі даталогічного проектування розроблена логічна модель була перетворена у фізичну (рис. 3.4) відповідно до обраної системи управління БД (СУБД) SQLite.

Фізична модель – це прив'язка логічної моделі до конкретного середовища зберігання та методів зберігання даних.

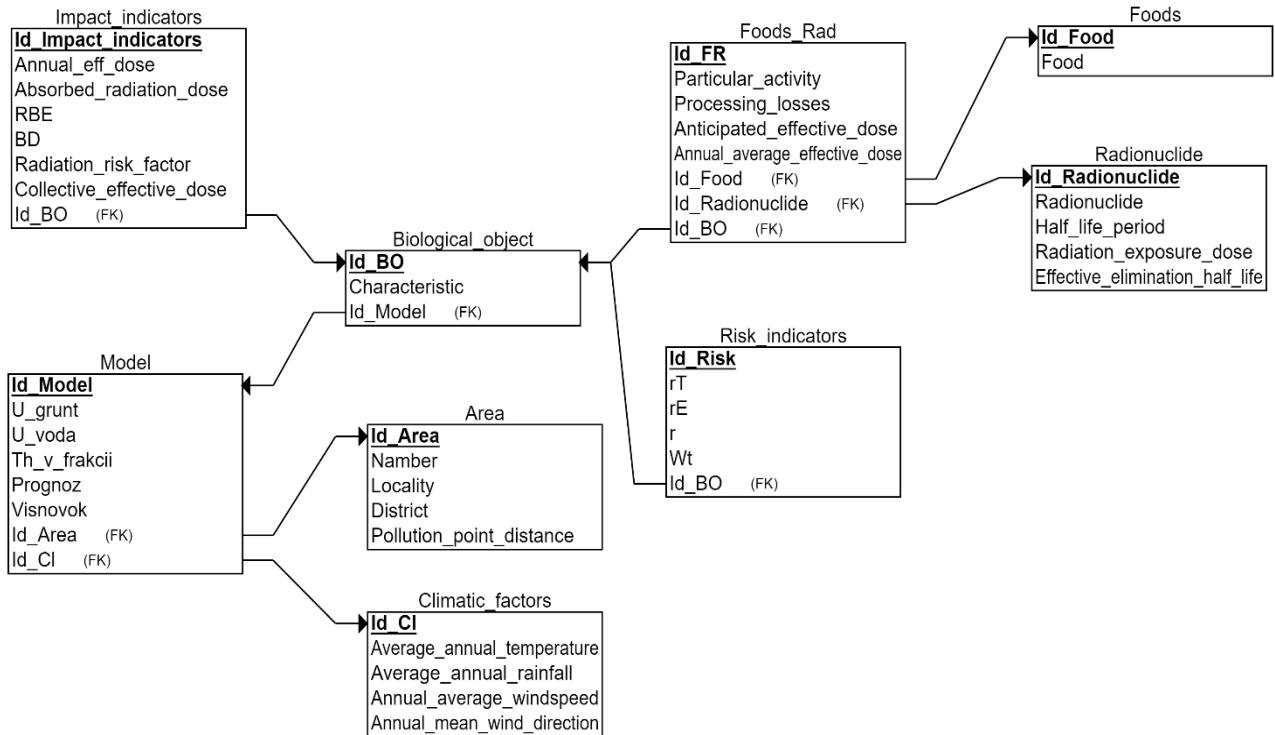


Рисунок 3.4 – Фізична модель бази даних

Система управління БД SQLite надає повний контроль над процесом визначення даних, їх обробкою і спільним використанням, дозволяє проводити каталогізацію великих обсягів інформації. СУБД забезпечує виконання трьох основних функцій:

- визначення даних – визначення відомостей, що зберігаються в БД, їх тип і види зв'язків;
- обробка даних – вибір за допомогою запитів будь-яких полів, фільтрація і сортування даних;
- керування даними – призначення користувальницького дозволу використання і редагування даних БД.

Фрагмент лістингу коду створення структури БД наведено в додатку Б.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ВІДНОСНО БІОЗАХИСТУ ЛЮДИНИ ВІД ВПЛИВУ ПРИРОДНИХ РАДІОНУКЛІДІВ

Невід’ємним елементом загальної ідеї сталого розвитку є екологічна безпека, а одним із основних завдань такого розвитку є її досягнення. Узагальнено екологічною безпекою можна назвати створення таких умов та заходів які забезпечують мінімальний ризик для людини з боку оточуючого його середовища. Зараз одним із найбільш актуальних її аспектів є біологічна безпека. В зв’язку з тим, що поняття безпеки логічно пов’язано з ризиком, ми визначимо біобезпеку через біологічний ризик. Біобезпеку будемо розуміти як відсутність загрози спричиненої біологічними об’єктами, які зазнали змін від безпосереднього, або опосередкованого антропогенного впливу.

Біологічна безпека (біобезпека) – це стан середовища життєдіяльності людини, при якому відсутній негативний вплив його чинників на біологічну структуру і функцію особистості в теперішньому і майбутніх поколіннях, а також відсутній незворотній негативний вплив на біологічні об’єкти природного середовища (біосферу) та сільськогосподарські рослини і тварини. Біологічна безпека передбачає оптимальні умови життєдіяльності, що виключають шкідливий вплив біологічних патогенних агентів на здоров’я населення.

За допомогою Діаграми Ісікави буде розглянута небажана ситуація небезпечність розроблювальної біотехнічної системи оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров’я людини.

Діаграма Ісікави або причинно-наслідкова діаграма застосовується з метою графічного відображення взаємозв’язку між вирішуваною проблемою або бажаним результатом і причинами, що впливають на її досягнення.

Така діаграма надає можливість виявити ключові взаємозв’язки між різними факторами та більш достеменно зрозуміти досліджуваний процес. Діаграма сприяє визначенню головних чинників, які спричиняють найзначніший

внесок до проблеми або бажаного результату, що розглядається, та попередженню або усуненню їх дії, або удосконаленню.

При побудові діаграми Ісікави було використано правило «чотирьох М» – в загальному випадку існують 4 можливих причин тих чи інших результатів:

1) люди (man) та менеджмент (management) – причини, пов'язані з людським фактором (кваліфікація людини, його фізичний стан, досвід та ін.) та з керуванням;

2) метод (method) – причини, пов'язані з технологією роботи, з організацією процесів (яким чином виконується робота, а також все, що пов'язано з продуктивністю і точністю виконуваних операцій процесу або дій.);

3) обладнання (machine) – причини, пов'язані з обладнанням (фактори, які обумовлені обладнанням, машинами, пристроями – стан інструменту, стан пристосувань і т.п.);

4) вимір, контроль (measurement) – причини, пов'язані з методами вимірювання (фактори, що впливають на достовірне розпізнавання помилки);

Причинно-наслідковий аналіз забезпечує структуроване графічне представлення переліку причин одного слідства. Залежно від об'єкта досліджень наслідок може бути позитивним (мета) або негативним (проблема).

Метод використовується для дослідження всіх можливих сценаріїв і причин. Найбільш доцільно застосовувати даний метод на самому початку аналізу, що дозволяє розширити діапазон уявлень про можливі причини, а потім сформулювати гіпотези, які далі слід розглянути відповідно до встановленої процедури.

Побудова причинно-наслідкової діаграми дозволяє:

– ідентифікувати можливі першопричини і / або основні причини для певного слідства, проблеми або умови;

– провести аналіз в ситуації і знайти взаємозв'язок між взаємодіючими факторами, пов'язаними з досліджуваним процесом;

– провести аналіз існуючих проблем для прийняття коригувальних дій.

Перевагами побудови причинно-наслідкової діаграми є:

- а) сприяння визначенню початкових причин проблеми із застосуванням структурованого підходу;
- б) застосування простого для сприйняття типу діаграми для відображення причинно-наслідкових зв'язків;
- в) виявлення можливих причин змін в процесі;
- г) ідентифікація областей збору даних для подальших досліджень.

Вхідними даними причинно-наслідкового аналізу є результати експертизи, дослідження, раніше розроблені моделі, використані в попередніх дослідженнях.

Основними етапами, за якими був проведений причинно-наслідкового аналіз:

1) встановлення слідства, а саме за яких обставин розроблювальна біотехнічна система оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини може бути небезпечною, і розміщення його справа у відповідному блоці діаграми. Слідство в даному випадку є негативним (проблема);

2) визначення основних (головних) категорій причин і вказівку їх у відповідних блоках діаграми «риб'ячого скелета». При аналізі систем було виділено наступні категорії причин: люди, обладнання, вимірювання, методи;

3) потім були виділені можливі причин для кожної основної (головної) категорії на гілках і відгалуженнях для опису взаємозв'язків між ними;

4) продовження дослідження шляхом ітеративної постановки питань «чому?» або «що це викликало?» для встановлення зв'язків між причинами;

5) аналіз всіх гілок і відгалужень, спрямований на перевірку послідовності і повноти виявлених причин, і їх відношення до основного наслідку;

б) ідентифікація найбільш ймовірних причин даного слідства.

Діаграма Ісікави структурується поділом причин на основні категорії (подані лініями, що відходять від реб'ячого хребта), використовуючи гілки та підгілки, які описують конкретніші причини в цих категоріях.

Результатом причинно-наслідкового аналізу безпеки розроблювальної біотехнічної системи оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини є діаграма Ісікави, схема якої показана на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Діаграма Ісікави

Аналізування за допомогою діаграм причинно-наслідкових зв'язків є якісним методом.

Після проведення аналізу, наведені рекомендації відносно біозахисту людини від впливу природних радіонуклідів.

Радіоактивні речовини широко застосовуються в різних галузях промисловості, а також в науково-дослідних роботах. Тому важливого значення набувають знання характеру впливу іонізуючих випромінювань на організм людини та правил поводження з радіоактивними речовинами.

Іонізуючі випромінювання, проникаючи в організм людини, можуть стати причиною важких захворювань. Можливі такі захворювання, як променева

хвороба, лейкемія, злоякісні пухлини, захворювання шкіри. Можуть виникнути і генетичні наслідки, що приводять до захворювань в послідуючих поколіннях. Небезпека полягає в тому, що дія радіоактивних випромінювань не спостерігається до того часу, поки не з'явиться явне ушкодження або захворювання.

У результаті дії іонізуючого випромінювання на організм людини в тканинах можуть виникати складні фізичні, хімічні та біологічні процеси. При цьому порушується нормальне протікання біохімічних реакцій та обмін речовин в організмі.

В залежності від поглинутої дози випромінювання та індивідуальних особливостей організму викликані зміни можуть носити зворотний або незворотний характер. При незначних дозах опромінення уражені тканини відновлюються. Тривалий вплив доз, які перевищують гранично допустимі межі, може викликати незворотні зміни в окремих органах або у всьому організмі й виразитися в хронічній формі променевої хвороби. Віддаленими наслідками променевого ураження можуть бути променеві катаракти, злоякісні пухлини.

При вивченні дії на організм людини іонізуючого випромінювання в першому розділі можна виділити такі особливості:

- висока руйнівна ефективність поглинутої енергії іонізуючого випромінювання, навіть дуже мала його кількість може спричинити глибокі біологічні зміни в організмі;

- присутність прихованого періоду негативних змін в організмі, він може бути досить довгим при опроміненнях у малих дозах;

- малі дози можуть підсумовуватися чи накопичуватися;

- випромінювання може впливати не тільки на даний живий організм, а й на його нащадків (генетичний ефект);

- різні органи живого організму мають певну чутливість до опромінення. Найбільш чутливими є: кришталик ока, червоний кістковий мозок, щитовидна

залоза, внутрішні (особливо крово-творні) органи, молочні залози, статеві органи;

– різні організми мають істотні відмінні особливості реакції на дози опромінення;

– ефект опромінення залежить від частоти впливу іонізуючо-го випромінювання. Одноразове опромінення у великій дозі спричиняє більш важкі наслідки, ніж розподілене у часі.

Іонізуюче випромінювання дуже згубно діє на організм людини, і тому необхідні рекомендації відносно біозахисту людини від впливу природних радіонуклідів.

Радіаційна безпека (РБ) – дотримання допустимих меж радіаційного впливу на персонал, населення та навколишнє природне середовище, встановлених нормами, правилами та стандартами з безпеки;

Радіаційна безпека персоналу, населення і оточуючого середовища вважається забезпеченою, якщо дотримуються основні принципи радіаційної безпеки (виправданості, оптимізації, неперевершення) і вимоги радіаційного захисту, встановлені діючими нормами радіаційної безпеки та санітарними правилами.

На стадії прийняття рішення при формуванні технічної документації слід застосовувати принцип виправданості, який передбачає заборону всіх видів діяльності з використанням джерел радіоактивного випромінювання, за яких отримана для людини та суспільства користь не перевищує ризику можливої шкоди, яка може бути заподіяною випромінюванням. В умовах радіаційної аварії принцип виправданості стосується не джерел випромінювання та умов опромінення, а захисних заходів, при цьому в якості величини користі слід оцінювати попереджену даними заходами дозу. Заходи ж, що направлені на відновлення контролю над джерелами випромінювання, мають проводитись в обов'язковому порядку.

В умовах радіаційної аварії, коли замість лімітів доз діють більш високі рівні втручання, та до захисних заходів з врахуванням попередженої дози опромінення і збитків, пов'язаних з втручанням повинен застосовуватись принцип оптимізації, який передбачає підтримання на максимально низькому рівні як індивідуальних (нижче лімітів, встановлених діючими нормами), так і колективних доз опромінення, з врахуванням соціальних та економічних факторів.

Усім організаціям та особам, від яких залежить рівень опромінення людей необхідно дотримуватись принципу неперевершення, який вимагає запобігання перевищення встановлених діючими нормами радіаційної безпеки індивідуальних лімітів доз та інших нормативів радіаційної безпеки.

Система радіаційної безпеки вирішує дві функціональні задачі:

- 1) зниження рівня опромінення персоналу і населення до допустимих норм;
- 2) створення ефективної системи радіаційного контролю.

Захист від зовнішніх потоків випромінювання. При роботі із закритими джерелами, тобто радіоактивними джерелами випромінювання, устрій яких виключає попадання радіоактивних речовин в оточуюче середовище, дослідник може бути опромінений тільки зовнішніми потоками випромінювання.

В залежності від умов випромінювання, характеру та місцезнаходження джерела застосовуються різні заходи та методи захисту від опромінення:

- а) захист за часом;
- б) захист відстанню;
- в) екранування джерел випромінювання;
- г) індивідуальні засоби захисту;
- д) радіопротектори.

Необхідно застосовувати метод віддалення дослідника від джерела випромінювання, оскільки доза та її потужність обернено пропорційні квадрату відстані. Відстань на якій можна працювати з джерелами іонізуючого

випромінювання на протязі певного часу, визначається по формулам з урахуванням допустимої потужності дози або дози опромінення, або по довжині пробігу випромінювання в повітрі. Для збільшення відстані між працюючим і джерелом випромінювання в лабораторній практиці широко застосовується дистанційне управління операціями з радіоактивними речовинами.

Для безпечної роботи дослідника з іонізуючим випромінюванням забезпечують також захисні екрани, товщина яких розраховується на основі законів послаблення випромінювання у речовині екрану. Товщину захисного екрану можна визначити по довільним таблицям та номограмам.

При екрануванні α – джерел опромінення товщина матеріалу повинна бути не менша за довжину пробігу α -частинок в даному середовищі. Оскільки довжина пробігу навіть високоенергетичних α -частинок не перевищує 55 мкм, поглинати авипромінювання можна склом, плексигласом, фольгою товщиною в соті долі мм.

Товщину екрану для поглинання – випромінювання визначають виходячи з величини максимального пробігу β -частинок в речовині екрану і густини речовини екрану.

Для захисту від рентгенівського і γ - випромінювання застосовують екрани з матеріалів з великим атомним номером і великою густиною: свинець, вольфрам, залізо. Можуть бути використані і метали середньої густини: нержавіюча сталь, чавун, мідні сплави.

До стаціонарних захисних огорожень відносяться: захисні стіни, перекриття підлоги та стелі, двері тощо. До пересувних захисних пристроїв відносяться: різного типу ширми і екрани; діафрагми установок та приладів, які обмежують потік променів; контейнери для транспортування радіоактивних речовин. Широко застосовуються в лабораторній практиці розбірні пристрої із свинцевих блоків. Надійність захисних екранів контролюється відповідними дозиметричними приладами. Екрануванням можна зменшити інтенсивність опромінення на робочому місці до будь-якого заданого рівня.

Захист від нейтронів полягає в уповільненні швидких нейтронів із послідувачим їхнім поглинанням. Добрим захисним матеріалом від швидких нейтронів є вода. Нейтрони малої енергії добре поглинаються бором, тому бор вводить в бетон, свинець, гуму та інші матеріали.

Також одним із дієвих способів захисту є хімічні речовини, які підвищують стійкість організму до дії випромінювання, називають радіопротекторами. На даний час наука володіє ефективними радіопротекторами, такими як ціанід натрію, азиди, речовини, які містять сульфідні групи та інші. Розроблені раніше хімічні засоби, які ефективно очищують шкіру від радіоактивного забруднення.

Необхідним етапом захисту є – захист від внутрішнього опромінення. Під внутрішнім опроміненням розуміють вплив на організм іонізуючого випромінювання від джерела, що знаходиться всередині тіла. Найбільшу небезпеку при цьому представляють відкриті джерела радіоактивного випромінювання. Відкритим джерелом називається радіоактивне джерело випромінювання, при користуванні яким можливе попадання радіоактивних речовин, що містяться в ньому, в оточуюче середовище.

Захист від внутрішнього опромінення вимагає виключення контакту із радіоактивними речовинами у відкритому вигляді, попередження попадання їх в середину організму, в повітря робочої зони, а також попередження радіоактивного забруднення рук, одягу, поверхонь, приміщень і обладнання.

Засоби індивідуального захисту є додатковими до основних засобів захисту. Вони запобігають попаданню радіоактивного забруднення на шкіру і всередину організму. Засоби індивідуального захисту при роботі з іонізуючим випромінюванням умовно можна поділити на засоби повсякденного призначення та засоби короткочасного використання. До засобів повсякденного призначення належать халати, комбінезони, спецвзуття та деякі типи протипилових респіраторів. До засобів короткочасного використання належать ізолюючі костюми.

При досліджуванні радіоактивних ізотопів в якості спецодягу рекомендується використовувати халати, комбінезони і напів-комбінезони із нефарбованої бавовняної тканини, а також бавовняні шапочки.

При небезпеці значного забруднення приміщення радіоактивними ізотопами поверх бавовняного одягу слід надягати одяг з плівки (нарукавники, фартух, халат, костюм), що закриває все тіло або тільки місця найбільшого забруднення. Такий одяг забезпечує найбільший захист поверхні тіла працюючого від попадання радіоактивних речовин, пилу, а також кислот і лугів, які можуть застосовуватись при роботі з радіоактивними речовинами.

Для роботи з відкритими радіоактивними речовинами, які мають активність понад 10 мкКі, для захисту рук застосовують рукавиці із про свинцьованої гуми з гнучкими нарукавниками.

Для захисту очей рекомендується застосовувати окуляри закритого типу із скла, яке містить фосфат вольфраму або свинець. Під час роботи з альфа- і бета-препаратами для захисту обличчя і очей використовують захисні окуляри.

У зв'язку з тим, що звичайне взуття легко вбирає радіоактивні речовини і його важко очищати від забруднення, слід застосовувати плівкові туфлі, спеціальні черевики, парусинові чохли, які надягають на взуття і знімають при виході із забруднених місць.

Для забезпечення радіаційної безпеки населення необхідно наступне:

– створенням умов життєдіяльності людей, які відповідають вимогам діючих норм і правил радіаційної безпеки; організація радіологічного контролю; ефективність планування та проведення заходів з радіаційного захисту в нормальних умовах та у випадку радіаційної аварії; організація системи інформації про радіаційний стан.

– радіаційна безпека від об'єкта випромінювання та населення і навколо нього забезпечується за рахунок фізичного захисту джерел випромінювання; зонування території навколо найбільш небезпечних об'єктів і всередині них;

– санітарно-епідеміологічна оцінка виробів і технологій; наявність системи радіаційного контролю; планування і проведення заходів щодо забезпечення радіаційної безпеки населення; підвищення радіаційно-гігієнічної грамотності населення.

– радіаційна безпека дослідника забезпечується: обмеженнями допуску до роботи з джерелами випромінювання по стану здоров'я, рівню попереднього опромінення та іншими показниками; знаннями і дотриманням правил роботи з джерелами випромінювання; достатністю захисних бар'єрів, екранів і відстані від джерел випромінювання, а також обмеженням часу роботи з джерелами випромінювання; створенням умов праці, що відповідають вимогам чинних норм і правил РБ; застосуванням індивідуальних засобів захисту;

Безпека в надзвичайних ситуаціях.

Надзвичайна ситуація (НС) – стан, при якому в результаті впливу природних або техногенних факторів на певній території, акваторії або об'єкті порушуються нормальні умови життєдіяльності людей, виникає загроза їхньому життю й здоров'ю, наноситься збиток майну населення, народному господарству й навколишньому природному середовищу.

Під джерелом НС розуміють небезпечне природне явище, аварію або небезпечну техногенну подію, широко розповсюджену інфекційну хворобу людей, сільськогосподарських тварин і рослин.

НС виникають при стихійних явищах (землетрус, повінь, зсуви й т.д.), при техногенних аваріях. Найбільшою мірою аварійність властива вугільній, гірничорудній, хімічній, нафтогазовій і металургійній галузям промисловості, геологорозвідці, об'єктам котлонагляду, газового й підземного транспортного господарства, а також транспорту.

Основними причинами великих техногенних аварій є:

1) відмови технічних систем через дефекти виготовлення й порушень режимів експлуатації;

2) концентрація різних виробництв у промислових зонах без належного вивчення їхнього взаємовпливу;

3) високий енергетичний рівень технічних систем;

4) зовнішній негативний вплив на об'єкти енергетики, транспорту й ін.

НС підрозділяються такі рівні: локальний, місцевий, об'єктний, регіональний і планетарний.

Локальна НС – поширення наслідків обмежене виробничим приміщенням.

Об'єктна НС – поширення наслідків обмежене обсягом і територією об'єкта.

Місцева НС – поширення наслідків обмежене територією міста (району) або області.

Регіональна НС – поширення наслідків обмежене територією краю, кількох областей.

Планетарна НС – поширення наслідків обмежене територією краю, кількох суміжних країн.

Безпосередньо з інформуванням населення про загрозу виникнення НС, правилами поведінки та способами дій в цих умовах пов'язане оповіщення, тобто доведення сигналів і повідомлень органів управління про загрозу та виникнення НС, аварій, катастроф, епідемій, пожеж тощо до центральних і місцевих органів виконавчої влади, підприємств, установ, організацій і населення.

Система оповіщення – це комплекс організаційно-технічних заходів, апаратури і технічних засобів оповіщення, апаратури, засобів та каналів зв'язку, призначених для своєчасного доведення сигналів та інформації про виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру до центральних і місцевих органів виконавчої влади, підприємств, установ, організацій і населення.

Протирадіаційний захист (ПРЗ) передбачає впровадження спеціальних режимів радіаційного захисту, виявлення та оцінку радіаційної, розробки та впровадження спеціальних режимів радіаційного захисту, дозиметричного

контролю, заходів щодо продовольства і води від зараження, своєчасного оповіщення населення про радіаційну небезпеку.

Під режимом радіаційного захисту робітників, дослідників та населення діяльності об'єкта розуміють встановлений порядок дій людей, застосування засобів і способів захисту в зонах радіоактивного зараження, що виключає радіаційне ураження людей понад встановлених норм і скорочує до мінімуму вимушену зупинку виробництва.

Режим радіаційного захисту (режим роботи) вводиться при тривалому перебуванні людей в зонах радіоактивного зараження для того, щоб забезпечити виробничий процес на об'єкті і життєдіяльність населення, зберігаючи при цьому працездатність людей. Це досягається регламентацією знаходження людей в захисних спорудах, в виробничих і житлових будинках і на відкритій місцевості з урахуванням захисних властивостей будинків і споруд і рівня радіації.

Режими захисту (режими роботи) розробляються завчасно (в мирний час) для дискретних значень рівнів радіації; очікуваних на об'єкті, на території регіону і є складовою частиною документів по управлінню виробничим процесом в умовах зараження.

Типові режими радіаційного захисту робітників і непрацюючого населення.

Із розроблених раніше семи типових режимів радіаційного захисту, потрібно застосовувати наступні, для найбільш типових умов проживання (типів житлових будинків), типів захисних споруд, які використовуються і їх захисних властивостей (коефіцієнти ослаблення випромінювання $K_{осв}$).

Типові режими №№ 1-3 розроблені для непрацюючого населення.

Заходи необхідні щодо захисту населення відповідних до режимів №№ 1-3: укриття дітей у приміщеннях; герметизація приміщень, укриття та упаковка продуктів харчування, води; обмеження перебування дорослих на відкритій місцевості, перебування в респіраторах; обладнання санітарних бар'єрів на входах у приміщення; йодна профілактика всьому населенню; перебування на

вулицях заборонено, за потреби у респіраторах, чоботях, плащах, головних уборах, рукавицях; часткова евакуація (дітей, вагітних жінок).

Типові режими № 8 – для формувань ЦЗ при проведенні аварійно-рятувальних робіт.

Заходи необхідні щодо захисту населення відповідних до режимів №8: повна евакуація населення; йодна профілактика всьому населенню; герметизація приміщень, укриття та упаковка продуктів харчування, води; обмеження перебування дорослих на відкритій місцевості, перебування в респіраторах.

Порядок вибору режиму радіаційного захисту:

- вимірюється рівень радіації на зараженій місцевості.
- перераховують рівень радіації на 1 год. після вибуху.
- в збірнику таблиці режимів вибирають номер типового режиму, що відповідає умовам проживання і типам захисних споруд, які використовуються для захисту людей.
- за визначеним рівнем радіації на 1 год. вибирають у таблиці відповідну йому інформацію та доводять до працівників потрібну інформацію через радіомережу.

Основною ланкою в системі цивільного захисту держави є об'єкт господарювання (підприємство, установа, організація). Саме на об'єкті, де зосереджено людські і матеріальні ресурси, здійснюють економічні і захисні заходи.

Відповідно до законодавства, керівництво підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності і підпорядкування забезпечує своїх працівників засобами індивідуального та колективного захисту, місцем у захисних спорудах, організовує евакуаційні заходи, створює сили для ліквідації наслідків НС та забезпечує їх готовність, виконує інші заходи з цивільного захисту і несе пов'язані з цим матеріальні та фінансові витрати. Власники потенційно небезпечних об'єктів, як вище позначалося, відповідають також за

оповіщення і захист населення, що проживає в зонах можливого ураження від наслідків аварій на цих об'єктах.

Начальником цивільного захисту (ЦЗ) об'єкта є керівник об'єкта. Він відповідає за організацію і стан ЦЗ об'єкта, керує діями органів і сил ЦЗ під час проведення рятувальних робіт на ньому. Заступники начальника ЦЗ об'єкта допомагають йому з питань евакуації, матеріально-технічного постачання, інженерно-технічного забезпечення тощо.

Органом повсякденного управління ЦЗ є відділ (сектор) з питань НС та ЦЗ, який організовує і забезпечує повсякденне керівництво виконанням завдань ЦЗ на об'єкті.

Для підготовки та втілення в життя заходів з окремих напрямів створюють служби зв'язку та оповіщення, сховищ і укриттів, протипожежної охорони, охорони громадського порядку, медичної допомоги, протирадіаційного і протихімічного захисту, аварійно-технічного та матеріально-технічного забезпечення тощо. Начальниками служб призначають начальників установ, відділів, лабораторій, на базі яких вони утворюються.

При НС дуже важливою ланкою є служба зв'язку та оповіщення, яку створюють на базі вузла зв'язку об'єкта. Головне завдання служби – забезпечити своєчасне оповіщення керівного складу та службовців про загрозу аварії, катастрофи, стихійного лиха, нападу противника; організувати зв'язок і підтримувати його в стані постійної готовності.

Незамінною є протипожежна служба, яку необхідно створювати на базі підрозділів відомчої пожежної охорони. Служба розробляє протипожежні профілактичні заходи і контролює їх виконання; організовує локалізацію і гасіння пожежі.

Рекомендується мати медичну службу під час НС, її формують на базі медичного пункту, поліклініки об'єкта. На неї покладають організацію проведення санітарно-гігієнічних та профілактичних заходів, надання медичної допомоги потерпілим та евакуацію їх у лікувальні установи, медичне

обслуговування робітників, службовців і членів їхніх сімей у місцях розосередження.

В умовах НС, залучають службу охорони громадського порядку створюють на базі підрозділів відомчої охорони. Її завдання – організувати і забезпечити надійну охорону об'єкта, громадського порядку в умовах НС, під час ліквідації наслідків аварії, стихійного лиха, а також у воєнний час.

Одною з головних служб протирадіаційного і протихімічного захисту організовують на базі хімічної лабораторії чи цеху. На неї покладають розробку та здійснення заходів щодо захисту робітників і службовців, джерел водозабезпечення, радіаційного і хімічного спостереження, проведення заходів з ліквідації радіаційного і хімічного зараження та здійснення дозиметричного контролю.

Необхідно створювати службу сховищ та укриттів, яку організовують на базі відділу капітального будівництва, житлово-комунального відділу. Вона розробляє план захисту робітників, службовців та їх сімей з використанням сховищ та укриттів, забезпечує їх готовність та правильну експлуатацію.

При НС аварійна-технічна служба, є незамінною, її створюють на базі виробничо-технічного відділу або відділу головного механіка. Служба розробляє та здійснює попереджувальні заходи, що підвищують стійкість основних споруд, інженерних мереж та комунікацій у НС, організовує проведення робіт з ліквідації і локалізації аварії на комунально-енергетичних мережах.

Рекомендовано забезпечити службою матеріально-технічного забезпечення, яку створюють на базі відділу матеріально-технічного постачання об'єкта. Вона організовує своєчасне забезпечення формувань усіма засобами оснащення, постачання продуктів харчування і предметів першої необхідності робітників та службовців на об'єкті та у місцях розосередження, ремонт техніки і майна.

Важливо мати транспортну службу, її організовують на базі транспортного відділу, гаражу об'єкта. Вона розробляє і здійснює заходи із забезпечення

перевезень, пов'язаних із розосередженням працівників та доставки їх до місця роботи, проведення рятувальних робіт.

Кожна служба створює, забезпечує, готує відповідні формування служби (команди, групи, ланки) і керує ними під час виконання робіт.

ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи був розроблений алгоритм оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини, який дозволяє визначити низку параметрів наприклад індивідуальний ризик захворюваності від радіаційного впливу, визначити ймовірність смерті від радіаційного опромінення та інші, які наведені в розділі 3.

Кваліфікаційна робота підкреслила актуальність наукового завдання забезпечення екологічної безпеки людини, яка знаходиться в середовищі, що містить природні радіонукліди, в якій враховується вплив природних радіонуклідів на людину.

Проведений аналітичний огляд уже раніше створених методів та засобів оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини. Як показав аналіз відомі методи не дозволяють в повній мірі оцінити наслідки впливу радіонуклідів саме на здоров'я людини, розглянуті засоби, являються досить місткими – тобто не кожен дослідник зможе скористатись таким забезпеченням.

Розроблена математична модель визначення радіонуклідної небезпечності територій, опираючись на досить велике значення площі під ROC-кривою, являється досить якісною прогностичною моделлю з досить високою чутливістю, яка використовується в алгоритмі, для розрахунку, за іншими значеннями екологічної безпечності території,

На основі математичної моделі, використовуючи формули перерахунків, був розроблений алгоритм оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини. Алгоритм дозволяє врахувати негативний вплив радіонуклідів на організм людини і своєчасно здійснити відповідні лікувально-профілактичні заходи.

Створена структурна схема біотехнічної системи, яка має ергатичний тип, та високий ступінь автоматизації, в середину якої інтегрований розроблений

алгоритм, важливою та невід'ємною складовою цієї системи являється база даних. Під час проектування якої, були визначені 9 сутностей, що описують процес оцінки наслідків впливу природних радіонуклідів на здоров'я людини та дозволяють зберігати необхідні вхідні дані та розраховані показники у структурованому вигляді.

Наведені рекомендації відносно радіоекологічного захисту людини від впливу природних радіонуклідів, забезпечує правилами щодо біозахисту населення та довкілля в Україні при поводженні з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів.

Усе це дозволяє при належному до опрацюванні, впровадити результати кваліфікаційної роботи при розробці та виробництві в ніші екологічних біотехнічних систем.

В даній магістерській роботі наведені розрахунки параметрів оцінювання впливу від радіаційного опромінення, визначення ефективної колективної дози впливу на популяцію, визначення нагромадження радіонуклідів в органах та ін.

За допомогою розробленого алгоритму можна оцінити вплив на здоров'я людини забруднення природними радіонуклідами при видобутку та переробці руд та матеріалів, збагачених природними радіонуклідами навколишнього середовища.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Клименко М. О., Клименко О. М., Клименко Л. В. К49 Радіоекологія : підручник. – Рівне : НУВГП, 2020. – 304 с.
2. Радіоекологія: підручник. В.П. Шапорев, Ю.Г. Масікевич, В.Ф. Моїсєєв, та ін. – Чернівці: «Місто» АНТ, 2018. – 440 с.
3. Радиоэкология: учебник для вузов / М. Г. Давыдов [и др.]. — Ростов н/Д : Феникс, 2013. — 635 с.: ил. — (Высшее образование).
4. Радіаційні ураження : навчально-методичний посібник до практичних занять внутрішньої медицини (військова терапія) для студентів 5 курсу медичних факультетів / В.А. Візір, О.В. Деміденко, В.В. Школовий. – Запоріжжя : ЗДМУ, 2019. – 63 с.
5. Іванов Євген Радіаційна екологія: Навчально-методичний посібник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2011. – 217 с. Рис. 26; Табл. 22; Дод. 16; Бібліограф. назв 106.
6. Яблоков А. В. Миф о безопасности малых доз радиации: Атомная мифология / А. В. Яблоков. – М., 2002. – 145 с.
7. Михеев А.Н. Малые «дозы» радиобиологии. Моя маленькая радиобиологическая вера. – К.: Фитосоциоцентр, 2016. – 371 с.
8. Кугитко, М.О., Зубрицька, Л.О. Вплив радіації на організм людини. Актуальні питання медико-біологічних і фармацевтичних наук: зб. наук. публікацій I Всеукр. студентської наук.-практ. конф., Житомир, ЖБФФК, 24–25 березня 2021р. – С. 31-34.
9. Балабак А.В. Екологія з основами радіобіології. Методичні вказівки для студентів до вивчення дисципліни «Екологія з основами радіобіології» та завдання для виконання контрольної роботи — Умань: УНУС, 2020. — 15 с.
10. Москалев Ю. И. Отдаленные последствия воздействия донизующих излучений / Ю. И. Москалев. – М.: Медицина, 1991. – 464 с.

11. Шубик В. М. Ионизирующие излучения и иммунитет / В. М. Шубик. – М.: Атомиздат, 1977. – 148 с.
12. Оценка негативного воздействия гексафторида урана на организм человека в аварийной ситуации и в производственных условиях С. П. Бабенко, А. В. Бадьин / Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Естественные науки”. 2010. № 3.
13. Бевза А. Г. Оцінка ризику загрози здоров'ю населення від забруднення навколишнього середовища радіонуклідами / Вісник ЛДУ БЖД № 6, 2012.
14. Кутлахмедов Ю. О. Основы радиоекологии : навч. посіб. / Ю. О. Кутлахмедов, В. І. Корогодін, В. К. Кольтовер // за ред. В. П. Зотова. – К. : Вища шк., 2003. – 319 с.
15. Спосіб розрахунку концентрації активності радіологічно важливих радіонуклідів у радіоактивних відходах у тимчасових сховищах аес відповідно до активності Нукліду ^{60}Co : пат. 118871 Україна. № 201703090; заявл. 03.04.2017; опубл. 28.08.2017, Бюл. № 16. 5 с.
16. Георгиевский В. Б. Экологические и дозовые модели при радиационных авариях : монография / В. Б. Георгиевский. – К. : Наукова думка, 1994. – 237 с.
17. Дайменд С. Мир вероятностей / С. Дайменд.– М., 1990. – 365 с.
18. U.S. Environmental Protection Agency. Risk assessment methodology, environmental impact statement for NESHAPS Radionuclides. – US EPA 520/1 – 89–005, 1989. – P. – 89.
19. Коваленко Ю. Л. Моніторинг довкілля : конспект лекцій / Ю. Л. Коваленко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 144 с.
20. Лев Т.Д. Информационно-аналитическое и картографическое обеспечение систем аварийного реагирования АЭС [Текст] / Т. Д. Лев, О. Г. Тищенко, В. Н. Пискун // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля — 2011. №16. — С. 17— 26.

21. Алесинская Т.В. Основы логистики. Общие вопросы логистического управления: учебное пособие / Т.В. Алесинская – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005.– 121 с.
22. Боровиков В. STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов – СПб.: Питер, – 2001. – 656 с.
23. Основи біобезпеки (екологічний складник) : навч. посіб. / Л. П. Новосельська, Т. Г. Іващенко, В. П. Гандзюра, О. П. Кулінич ; за заг. наук. ред. д.б.н. О. І. Бондаря. – К. : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. – 180 с.
24. Основы радиобиологии: Учебное пособие для студентов биологических специальностей высших учебных заведений / О.М. Храмченкова. – Гомель: УО «ГГУ им. Ф. Скорины», 2003. – 238с.
25. Запорожан В.М., Аряев М.Л. Біоетика та біобезпека: Підручник / В.М. Запорожан, М.Л. Аряев. — К.: Здоров'я, 2013. – 456 с.
26. Основы охраны праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.: Основа, 2006 — 448 с.
27. Заплотинський Б.А. Управління якістю. Конспект лекцій. – К.: ДУТ, кафедра менеджменту і бізнес-моделювання, 2016. – 164 с.
28. Мустецов Т. М. Теорія біотехнічних систем : навчальний посібник / Т. М. Мустецов, А. С. Нечипоренко. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2015. – 188 с.
29. Теорія систем в екології : підручник / Ю. Г. Масікевич, О. В. Шестопапов, А. А. Негадайло та ін. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 330 с.
30. ДСТУ 3008:2015. Документація. Звіти у сфері науки і техніки Структура та правила оформлювання. [Чинний від 2015-06-22]. Вид. офіц. Київ, 2016. 26 с. (Інформація та документація).
31. ДСТУ 3627:2005 Вироби медичні. Розроблення і ставлення на виробництво. Основні положення [Чинний від 2005-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2005. 32 с. (Вироби медичні).

Додаток А

Результати вимірювань природних, техногенних та антропогенних
факторів радіонуклідної небезпечності

Безпечно для людини та довкілля

№№ ПП	Фактори радоннебезпеки																			
	природні										техногенно-антропогенні									
	вміст урану				структурно-геологічні (в землі)			осадовий чохол (в реках осдок)			в межах СЗЗ (територія уранової шахти - ГВП)					в межах ЗС (зони спостереження ГВП)		поза ЗС		тран-спорт
	U в породах, % 10 ⁻⁴	U в корі вивітр. % 10 ⁻⁴	U в ґрунтах, % 10 ⁻⁴	U в під/пов водах, г/л 10 ⁻⁶	глибин	новітні		потужн. ос. чохла м	гама-активн. порід чохла мкр/год	вибухи 1-0	відвали площа, м ²	U ≤10 у відвалах	Th 0.5-1 у відвалах	Фрак.	нас. п. відст. від СЗЗ	пот. дози на 1 м мкЗв/г	нас.п. відст. від СЗЗ	пот. дози на 1 м мкЗв/г		
розломи глибинні						КС кільцеві стр-ри	вторин розлом													И
	А	Б	В	Г	Д	Е	Є	Ж	З	И	І	Ї	Й	К	Л	М	Н	О	П	
1	5	0.06	0.5	3.0	0	0	0	≥ 50	1-2	0	0	0	0	0	6	0.09	≥ 20	0.05	0	
2	5	0.06	0.6	3.8	0	0	0	≥ 50	1-2	0	0	0	0	0	6	0.09	≥ 20	0.05	0	
3	6	0.07	0.6	3.8	0	0	0	40-50	3-4	0	0	0	0	0	6	0.09	20	0.06	1	
4	6	0.07	0.7	4.5	0	1	1	40-50	3-4	0	0	0	0	0	6	0.08	18	0.06	1	
5	6	0.07	0.7	6.4	1	1	1	30-40	5	0	0	0	0	0	6	0.08	6	0.07	0	
6	6	0.08	0.8	6.4	1	1	1	30-40	6	0	0	0	0	0	6	0.09	6	0.07	0	
7	7	0.08	0.8	5.7	1	0	0	30-40	6	0	0	0	0	0	5	0.10	5	0.08	1	
8	7	0.08	0.8	7.0	1	0	1	30-40	5	0	0	0	0	0	5	0.10	5	0.08	0	
9	7	0.08	0.9	7.0	1	1	1	30-40	10	0	0	0	0	0	4	0.10	4	0.09	1	
10	7	0.08	0.9	5.7	1	1	0	20-30	7	0	0	0	0	0	4	0.11	4	0.09	1	
11	8	0.02	0.9	5.7	1	1	0	20-30	8	0	0	0	0	0	5	0.12	5	0.10	1	
12	8	0.12	0.9	3.8	1	0	1	20-30	8	0	0	0	0	0	5	0.12	5	0.10	1	
13	9	0.11	1.0	4.5	1	0	1	20-30	7	0	0	0	0	0	4	0.12	4	0.10	1	
14	9	0.09	1.0	12.8	1	0	0	10-20	7	0	0	0	0	0	4	0.11	4	0.09	1	
15	10	0.12	1.1	12.8	1	0	0	10-20	18	0	0	0	0	0	6	0.11	7	0.09	1	
16	10	0.12	1.1	10.7	0	0	0	10-20	17	0	0	0	0	0	6	0.09	8	0.08	1	
17	10	0.12	1.2	10.7	0	0	1	10-20	20	0	0	0	0	0	6	0.09	10	0.08	1	
18	9	0.09	1.2	8.0	0	0	1	10-20	18	0	0	0	0	0	6	0.09	10	0.08	1	
19	9	0.09	1.3	12.0	0	1	0	≤10	18	0	0	0	0	0	6	0.09	10	0.07	1	
20	9	0.09	1.3	10.7	0	1	0	≤10	33	0	0	0	0	0	6	0.09	15	0.07	1	

Небезпечно для людини та довкілля (сприятливі)

№№ ПП	Фактори радонебезпечності																			
	природні										техногенно-антропогенні									
	вміст урану				структурно-геологічні			осадовий чохол			в межах СЗЗ (територія уранової шахти - ГВП)					в межах ЗС (зони спостереження ГВП)		поза ЗС		тран- спорт
					глибин	новітні		потужн. ос. чохла м	гама- активн. порід чохла мкр/год	вибухи 1-0	відвали площа, м ²	U г/т у відвалах	Th 0.5-1 у відвалах	Фрак. ≥ 0.25 % у пробі	нас. п. відст. від СЗЗ	пот. доза на 1 м мкЗв/г	нас.п. відст. від СЗЗ	пот. доза на 1 м мкЗв/г		
розло- ми гли- бинні	КС кільцеві стр-ри	вторин розлом																		
U в поро- дах, % 10 ⁻⁴	U в корі вивітр. % 10 ⁻⁴	U в грун- тах, % 10 ⁻⁴	U в під/пов водах, г/л 10 ⁻⁶																	
1	5	0.06	0.5	3.0	0	0	0	20-30	1-2	0	240 000	10-20	1.5	5	6	0.09	≥ 20	0.05	0	
2	5	0.06	0.6	3.8	0	0	0	20-30	1-2	0	250 000	20-30	1.5	5	6	0.09	≥20	0.05	0	
3	6	0.07	0.6	3.8	0	0	0	10-20	3-4	0	250 000	20-30	1.5	5	6	0.09	20	0.06	1	
4	6	0.07	0.7	4.5	0	1	1	10-20	3-4	0	260 000	30-40	2.0	10	6	0.08	18	0.06	1	
5	6	0.07	0.7	6.4	1	1	1	10-20	5	0	260 000	30-40	2.0	10	6	0.08	6	0.07	1	
6	6	0.08	0.8	6.4	1	1	1	10-20	6	0	265032,45	40-50	2.3	12	6	0.09	6	0.07	2	
7	7	0.08	0.8	5.7	1	0	0	10-20	6	1	265032,45	40-50	2.3	12	5	0.10	5	0.08	2	
8	7	0.08	0.8	7.0	1	0	1	10-20	5	1	265032,45	40-50	2.3	15	5	0.10	5	0.08	2	
9	7	0.08	0.9	7.0	1	1	1	10-20	10	1	265032,45	40-50	2.3	15	4	0.10	4	0.09	2	
10	7	0.08	0.9	5.7	1	1	0	5-10	7	1	265032,45	40-50	2.3	12	4	0.11	4	0.09	2	
11	8	0.02	0.9	5.7	1	1	0	5-10	8	1	265032,45	40-50	2.3	12	5	0.12	5	0.10	2	
12	8	0.12	0.9	3.8	1	0	1	5-10	8	1	260 000	30-40	2.0	10	5	0.12	5	0.10	2	
13	9	0.11	1.0	4.5	1	0	1	5-10	7	1	260 000	30-40	2.0	10	4	0.12	4	0.10	2	
14	9	0.09	1.0	12.8	1	0	0	3-5	7	1	250 000	20-30	1.5	10	4	0.11	4	0.09	1	
15	10	0.12	1.1	12.8	1	0	0	3-5	18	0	250 000	20-30	1.5	10	6	0.11	7	0.09	1	
16	10	0.12	1.1	10.7	0	0	0	3-5	17	0	240 000	10-20	1.5	8	6	0.09	8	0.08	1	
17	10	0.12	1.2	10.7	0	0	1	2-4	20	0	240 000	10-20	1.0	8	6	0.09	10	0.08	1	
18	9	0.09	1.2	8.0	0	0	1	2-4	18	0	230 000	5-10	1.0	5	6	0.09	10	0.08	1	
19	9	0.09	1.3	12.0	0	1	0	≤2	18	0	230 000	5-10	0.5	5	6	0.09	10	0.07	1	
20	9	0.09	1.3	10.7	0	1	0	≤2	33	0	220 000	5	0.5	5	6	0.09	15	0.07	1	

Додаток Б

Фрагмент лістингу коду програми створення бази даних

```
CREATE TABLE Area
(
  Id_Area INT NOT NULL,
  Namber VARCHAR(12) NOT NULL,
  Locality VARCHAR(100) NOT NULL,
  District VARCHAR(50) NOT NULL,
  Pollution_point_distance INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (Id_Area)
);

CREATE TABLE Foods
(
  Id_Food INT NOT NULL,
  Food VARCHAR(20) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (Id_Food)
);

CREATE TABLE Radionuclide
(
  Id_Radionuclide INT NOT NULL,
  Radionuclide VARCHAR(5) NOT NULL,
  Half_life_period FLOAT NOT NULL,
  Radiation_exposure_dose NUMERIC(5 2) NOT NULL,
  Effective_elimination_half_life FLOAT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (Id_Radionuclide)
);

CREATE TABLE Climatic_factors
(
  Id_CI INT NOT NULL,
  Average_annual_temperature NUMERIC(3 1) NOT NULL,
  Average_annual_rainfall NUMERIC(4 1) NOT NULL,
  Annual_average_windspeed NUMERIC(3 1) NOT NULL,
  Annual_mean_wind_direction VARCHAR(15) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (Id_CI)
);

CREATE TABLE Model
(
  Id_Model INT NOT NULL,
  U_grunt FLOAT NOT NULL,
  U_voda FLOAT NOT NULL,
  Th_v_frakcii FLOAT NOT NULL,
  Prognoz VARCHAR(10) NOT NULL,
  Visnovok VARCHAR(250) NOT NULL,
  Id_Area INT NOT NULL,
  Id_CI INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (Id_Model),
  FOREIGN KEY (Id_Area) REFERENCES Area(Id_Area),
  FOREIGN KEY (Id_CI) REFERENCES Climatic_factors(Id_CI)
);
```

```

CREATE TABLE Biological_object
(
  Id_BO INT NOT NULL,
  Characteristic VARCHAR(250) NOT NULL,
  Id_Model INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (Id_BO),
  FOREIGN KEY (Id_Model) REFERENCES Model(Id_Model)
);

```

```

CREATE TABLE Risk_indicators
(
  Id_Risk INT NOT NULL,
  rT FLOAT NOT NULL,
  rE FLOAT NOT NULL,
  r FLOAT NOT NULL,
  Wt FLOAT NOT NULL,
  Id_BO INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (Id_Risk),
  FOREIGN KEY (Id_BO) REFERENCES Biological_object(Id_BO)
);

```

```

CREATE TABLE Foods_Rad
(
  Id_FR INT NOT NULL,
  Particular_activity FLOAT NOT NULL,
  Processing_losses NUMERIC(8 2) NOT NULL,
  Anticipated_effective_dose FLOAT NOT NULL,
  Annual_average_effective_dose FLOAT NOT NULL,
  Id_Food INT NOT NULL,
  Id_Radionuclide INT NOT NULL,
  Id_BO INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (Id_FR),
  FOREIGN KEY (Id_Food) REFERENCES Foods(Id_Food),
  FOREIGN KEY (Id_Radionuclide) REFERENCES Radionuclide(Id_Radionuclide),
  FOREIGN KEY (Id_BO) REFERENCES Biological_object(Id_BO)
);

```

```

CREATE TABLE Impact_indicators
(
  Id_Impact_indicators INT NOT NULL,
  Annual_eff_dose NUMERIC(8 2) NOT NULL,
  Absorbed_radiation_dose NUMERIC(5 2) NOT NULL,
  RBE NUMERIC(5 2) NOT NULL,
  BD NUMERIC(5 2) NOT NULL,
  Radiation_risk_factor FLOAT NOT NULL,
  Collective_effective_dose NUMERIC(5 2) NOT NULL,
  Id_BO INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (Id_Impact_indicators),
  FOREIGN KEY (Id_BO) REFERENCES Biological_object(Id_BO)
);

```