

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МЕДИЧНИХ НАУК УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР  
РАДІАЦІЙНОЇ МЕДИЦИНИ НАМН УКРАЇНИ»

**ІВАНОВА ОЛЬГА МИКОЛАЇВНА**

УДК 539.16.04:621.039.76:614.876

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ДОЗ ОПРОМІНЕННЯ  
СУБ'ЄКТІВ З ДЕРЖАВНОГО РЕЄСТРУ УКРАЇНИ ОСІБ, ЯКІ  
ПОСТРАЖДАЛИ ВНАСЛІДОК ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ  
КАТАСТРОФИ**

03.00.01 – радіобіологія

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата біологічних наук

Київ 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Інституті радіаційної гігієни і епідеміології Державної установи «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України», м. Київ.

**Науковий керівник:**

кандидат фізико-математичних наук  
**Масюк Сергій Володимирович**,  
Інститут радіаційної гігієни і епідеміології  
Державної установи «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України», завідувач лабораторії радіологічного захисту.

**Офіційні опоненти:**

академік Національної академії аграрних наук України, доктор біологічних наук, професор  
**Прістер Борис Самуїлович**, Інститут проблем безпеки атомних електричних станцій НАН України, головний науковий співробітник відділу радіаційної екології;

доктор біологічних наук **Липська Алла Іванівна**,  
Інститут ядерних досліджень НАН України,  
завідувач відділу радіобіології і радіоекології.

Захист відбудеться « 10 » грудня 2019 р. о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.562.01 у Державній установі «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України», (03115, м. Київ, проспект Перемоги, 119/121).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державної установи «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України» (04050, м. Київ, вул. Ілленка, 53).

Автореферат розісланий « 8 » листопада 2019 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат біологічних наук



Л. О. Ляшенко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Радіаційний ризик є найбільш фундаментальним поняттям у системі безпечної взаємодії людини з радіаційно-ядерними технологіями, яке стосується як нормального функціонування цивільних та військових об'єктів, так і виникнення аварійних (Чорнобиль, 1986 р.; Фукусіма, 2011 р.; Киштим, 1957 р. та ін.) та надзвичайних (атомне бомбардування Хіросіми і Нагасакі, 1945 р.) ситуацій. По суті, без знання величини радіаційних ризиків у кількісній формі неможливо створити прийнятну систему стандартів радіаційної безпеки для персоналу промислових об'єктів з радіаційно-ядерними технологіями і населення, залученого тим або іншим чином до контакту з джерелами іонізуючого випромінювання (Масюк С. В. та ін., 2015).

Ризики впливу іонізуючого випромінювання на здоров'я людини зазвичай оцінюються шляхом проведення епідеміологічних досліджень. Такі дослідження потребують створення персоніфікованих медико-дозиметричних реєстрів. Нині у багатьох країнах світу функціонують реєстри професійного та медичного опромінення, на обліку в яких знаходяться сотні тисяч осіб. (Іванов В. К. и др., 2014; Namra G. et al., 2016; Chumak V. et al., 2016; Melo D. et al., 2015). Однак з епідеміологічної точки зору найбільш потужними є реєстри осіб, опромінених внаслідок радіаційних аварій та ядерних інцидентів (Jordan V. et al., 2016; McGeoghegan D. et al., 2010; Ruff T. A. et al., 2013). Дозиметрична підтримка таких реєстрів є складним завданням, оскільки при опроміненні великих контингентів населення індивідуальні дози практично неможливо визначити безпосередньо під час аварії. Тому виникає необхідність у створенні еколого-дозиметричних моделей для ретроспективної оцінки доз постраждалих осіб.

Методологія реконструкції доз опромінення, розвинута після Чорнобильської аварії, містить як елементи екологічної моделі (Кутлахмедов Ю. А., 2015; Muller H., Prohl G., 1993), так і параметри, скориговані за результатами радіоекологічного та дозиметричного моніторингу, що проводились на радіоактивно забруднених територіях (Прістер Б. С., 2016; Власова Н. Г., 2014; Likhtarev I. A. et al., 2015). Проте розроблені еколого-дозиметричні моделі застосовувались здебільшого для оцінки так званих «паспортних» та ретроспективно-проспективних доз опромінення, призначених для прийняття рішень органами влади. Ці дози непридатні для використання у радіоепідеміологічних дослідженнях, оскільки вони не враховують специфіку поведінки представників різних статевих та соціально-професійних груп населення на окремих територіях.

«Державний реєстр України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи» (ДРУ) функціонує з 1992 р. Його основним завданням є забезпечення профільних наукових та медичних установ інформацією щодо стану здоров'я осіб, опромінених внаслідок Чорнобильської катастрофи. Практична відсутність у ДРУ даних про дози радіаційного опромінення (насамперед, осіб, що мешкають на радіоактивно забруднених територіях (РЗТ), та дітей, які народилися від опромінених осіб) не давала можливості оцінити

вплив радіаційного чинника на стан здоров'я зазначених контингентів. Тому виникла необхідність у розробці системи реконструкції доз опромінення населення, постраждалого внаслідок аварії на ЧАЕС, яка б враховувала як індивідуальну інформацію про осіб зареєстрованих у ДРУ, так і результати радіоекологічного та дозиметричного моніторингів, що проводились на РЗТ України, починаючи з 1986 р.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана відповідно до планів наукових досліджень лабораторії радіологічного захисту Інституту радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ за темами: «Розробка системи індивідуалізації рівнів опромінення осіб з населення, що мешкає на радіоактивно забруднених територіях для дозиметричної підтримки Державного реєстру України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської аварії» (2007–2009 рр., № держреєстрації 0107U000912, співвиконавець); «Реконструкція індивідуалізованих доз зовнішнього і внутрішнього опромінення та опромінення щитовидної залози суб'єктів з Державного реєстру України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи» (2010–2012 рр., № держреєстрації 0110U000173, співвиконавець); «Реконструкція індивідуалізованих доз опромінення суб'єктів Державного реєстру України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи, що мешкають в Олевському і Народицькому районах Житомирської області та Дубровицькому і Сарненському районах Рівненської області» (2013–2015 рр., № держреєстрації 0113U002322, співвиконавець); «Дозиметрична підтримка державного реєстру України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи: реконструкція індивідуалізованих доз суб'єктів Коростенського району та ревізія реконструйованих доз для 9 районів, що досліджувалися у 2007–2015 рр.» (2016–2018 рр., № держреєстрації 0116U002474, відповідальний виконавець).

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційного дослідження є реконструкція індивідуалізованих доз опромінення осіб, що проживають на радіоактивно забруднених територіях України, для дозиметричного супроводу радіоепідеміологічних та клінічних досліджень.

Для досягнення цієї мети було поставлено такі *завдання*.

1. Розробити систему реконструкції індивідуалізованих доз опромінення суб'єктів ДРУ, яка б враховувала:

- індивідуальну та територіально-адміністративну інформацію, що зберігається у базах даних ДРУ для осіб, що мешкають в окремих районах Житомирської, Київської, Рівненської та Чернігівської областей;
- результати радіоекологічного моніторингу вмісту радіонуклідів у об'єктах довкілля (грунт, молоко та картопля місцевого виробництва, лісові ягоди та гриби), який проводився, починаючи з 1986 р. на РЗТ України;
- результати тиреодозиметричного моніторингу, що відбувався у травні–червні 1986 р.;

– результати вимірювань інкорпорованого радіоцезію у мешканців РЗТ на лічильниках випромінювання людини (ЛВЛ-моніторинг), що виконувався упродовж всього післяаварійного періоду.

2. Обґрунтувати критерії відбору суб'єктів ДРУ до субкогорти осіб, інформація про яких є достовірною та уможлиблює реконструкцію індивідуалізованих доз опромінення. Сформувати субкогорті для індивідуалізації доз суб'єктів ДРУ.

3. Дослідити динаміку та визначити основні радіоекологічні параметри, які впливають на величину доз зовнішнього та внутрішнього опромінення мешканців радіоактивно забруднених територій.

4. Розробити еколого-дозиметричні моделі (ЕДМ) реконструкції доз опромінення суб'єктів ДРУ, що відображають часову та територіальну специфіку поведінки населення найбільш постраждалих регіонів України.

5. Розрахувати з використанням розроблених моделей індивідуалізовані дози опромінення осіб, зареєстрованих у ДРУ та впровадити результати розрахунку в структуру ДРУ.

6. Обґрунтувати можливість використання одержаних дозових оцінок у радіоепідеміологічних та клінічних дослідженнях.

*Об'єкт дослідження:* процеси формування індивідуальних доз опромінення населення, що проживає на радіоактивно забруднених територіях України.

*Предмет дослідження:* часова динаміка та територіальні особливості поведінки радіонуклідів у навколишньому середовищі; фактори життєдіяльності населення, що впливають на величину дозових навантажень суб'єктів різних професійно-вікових груп; дози опромінення від радіонуклідів аварійного походження.

**Методи дослідження:** математичне моделювання та формалізація процесів міграції радіонуклідів у довкіллі, аналіз особливостей поведінки населення, системний аналіз, статистична обробка даних, комп'ютерне програмування.

**Наукова новизна отриманих результатів.** У дисертаційній роботі на основі результатів радіоекологічного та дозиметричного моніторингу, що проводились у населених пунктах України після аварії на ЧАЕС вперше розроблено систему реконструкції індивідуалізованих доз опромінення населення, що мешкає на радіоактивно забруднених територіях. Виконано оцінку доз опромінення осіб, які зареєстровані у ДРУ та мешкають у Коростенському, Народицькому, Олевському та Овруцькому районах Житомирської області, Іванківському районі Київської області, Дубровицькому, Рокитнівському та Сарненському районах Рівненської області, Козелецькому та Ріпкинському районах Чернігівської області. Обґрунтовано критерії відбору осіб, зареєстрованих у ДРУ, до субкогорти з індивідуалізації доз, для яких можливо реконструювати дозові оцінки. Для 341 436 суб'єктів ДРУ розраховано ефективні річні та накопичені дози опромінення за період 1986–2018 рр., а також поглинені дози

на щитоподібну залозу в 1986 р. від радіойоду та на червоний кістковий мозок від радіонуклідів стронцію у 1986–2018 рр. Вперше створено базу даних індивідуалізованих річних та накопичених за період 1986–2018 рр. доз суб'єктів ДРУ зазначених вище районів.

**Практичне значення отриманих результатів.** Розроблені еколого-дозиметричні моделі уможливають оцінку індивідуалізованих доз опромінення різних статево-вікових та соціально-професійних груп населення, що мешкає на радіоактивно забруднених територіях України. Результати роботи впроваджено у бази даних Українського центру інформаційних технологій та Національного реєстру, ННЦРМ та МОЗ України. Розроблено методичні рекомендації: «Реконструкція індивідуалізованих доз опромінення суб'єктів Державного реєстру України (ДРУ) осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської аварії і проживають на радіоактивно-забруднених територіях (Іванківський район Київської області та Овруцький район Житомирської області)»; «Реконструкція індивідуалізованих доз опромінення суб'єктів державного реєстру України осіб (ДРУ) Рокитнівського району Рівненської області та Козелецького і Ріпкинського районів Чернігівської області, які постраждали внаслідок чорнобильської катастрофи і проживають на радіоактивно-забруднених територіях»; «Реконструкція індивідуалізованих доз опромінення суб'єктів Державного реєстру України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи, що проживають у окремих районах Житомирської, Київської, Рівненської та Чернігівської областей». Результати роботи використано у міжнародних радіоепідеміологічних дослідженнях: «Breast Cancer in Belarus and Ukraine after the Chernobyl Accident»; «Thyroid Cancer and Other Thyroid Diseases in Ukraine Following the Chernobyl Accident»; «CTB: The Chernobyl Tissue Bank – Coordinating International Research on Radiation Induced Thyroid Cancer».

**Особистий внесок здобувача.** Дисертантом особисто проведено аналіз наукової літератури, індивідуальної (деперсоніфікованої відповідно до Закону України про захист персональних даних) та еколого-дозиметричної інформації, що зберігається у базах даних ДРУ та ННЦРМ, виконано параметризацію еколого-дозиметричних моделей, розроблено систему індивідуалізації доз суб'єктів ДРУ та відтворено її у вигляді комп'ютерного алгоритму. Виконано реконструкцію дозових оцінок та статистичну обробку результатів. Створено та передано до ДРУ базу даних індивідуалізованих доз опромінення населення десяти районів. Планування дослідження, інтерпретація отриманих даних і формулювання висновків проведено спільно з науковим керівником.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційних досліджень представлені й обговорені на вітчизняних і зарубіжних наукових конференціях та семінарах: The 55<sup>th</sup> Session of the Scientific Council of the International Agency for Research on Cancer (IARC) January 30 – February 1, 2019 (Ліон, Франція, 2019); Міжнародна науково-практична конференція «Чорнобильська катастрофа. Актуальні проблеми, напрямки та шляхи їх вирішення» (Житомир, 2018); XVII конгрес Світової Федерації Українських Лікарських Товариств (Тернопіль, 2018);

The 64<sup>th</sup> Annual Meeting of the American Radiation Research Society in Chicago, September 23–26, 2018 (Чикаго, США, 2018); Науково-практична конференція з міжнародною участю «Екологічна наукова діяльність: в концепції сталого розвитку» (Житомир, 2018); Семінар міжнародної робочої групи експертів проекту «Breast Cancer in Belarus and Ukraine after the Chernobyl Accident» – 28 березня 2018, IARC, Ліон, Франція; Засідання міжнародного круглого столу, присвяченому проблемам дозиметрії, радіаційної медицини і епідеміології 6–8 лютого 2018 р., Гомель, Білорусь; Науково-практична конференція з міжнародною участю «Радіоекологія–2017» (Київ, 2017); Міжнародна наукова конференція «Радіологічні та медичні наслідки Чорнобильської катастрофи – тридцять років потому» (Київ, 2016); 1<sup>st</sup> International Conference on Dosimetry and its Applications (Prague, 2013); Міжнародна конференція «Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього» (Київ, 2011).

*Публікації.* Основні результати дисертаційної роботи викладено у 33 наукових працях, серед яких: 17 статей у фахових журналах (зокрема 12 статей у журналах, які рекомендовані МОН України за спеціальністю «біологічні науки» та є міжнародними виданнями, до переліку наукометричних баз Scopus та Scopus); 2 розділи монографій; 11 тез доповідей на вітчизняних та міжнародних конференціях; 3 методичні документи, затверджених Національною академією медичних наук України та МОЗ України.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертацію викладено на 184 сторінках машинописного тексту. Робота містить вступ, огляд літератури, 5 розділів власних досліджень, висновки, список використаних джерел (139 кирилицею, 79 латиницею). Роботу проілюстровано 29 таблицями і 30 рисунками.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**Матеріал та методи досліджень.** Система реконструкції індивідуалізованих доз осіб, які знаходяться на обліку в ДРУ, є сукупністю взаємопов'язаних компонентів (рис. 1). Кожен компонент – це процедура обробки інформації та оцінки параметрів, що впливають на величину дози опромінення як населення РЗТ загалом, так і суб'єктів ДРУ зокрема. Усі компоненти системи можна розділити на три підсистеми (етапи) розрахунку індивідуалізованих доз:

- 1) аналіз та обробка первинної інформації;
- 2) розробка еколого-дозиметричних моделей;
- 3) впровадження результатів розрахунку доз опромінення у структуру ДРУ для використання у радіоепідеміологічних дослідженнях.

Метою першого етапу є обґрунтування критеріїв відбору суб'єктів ДРУ у субкогорті осіб, для яких індивідуалізація доз є можливою. Для цього виконується аналіз індивідуальної інформації ДРУ, визначається вік та стать особи, встановлюється НП, де вона мешкає, та його адміністративне підпорядкування.

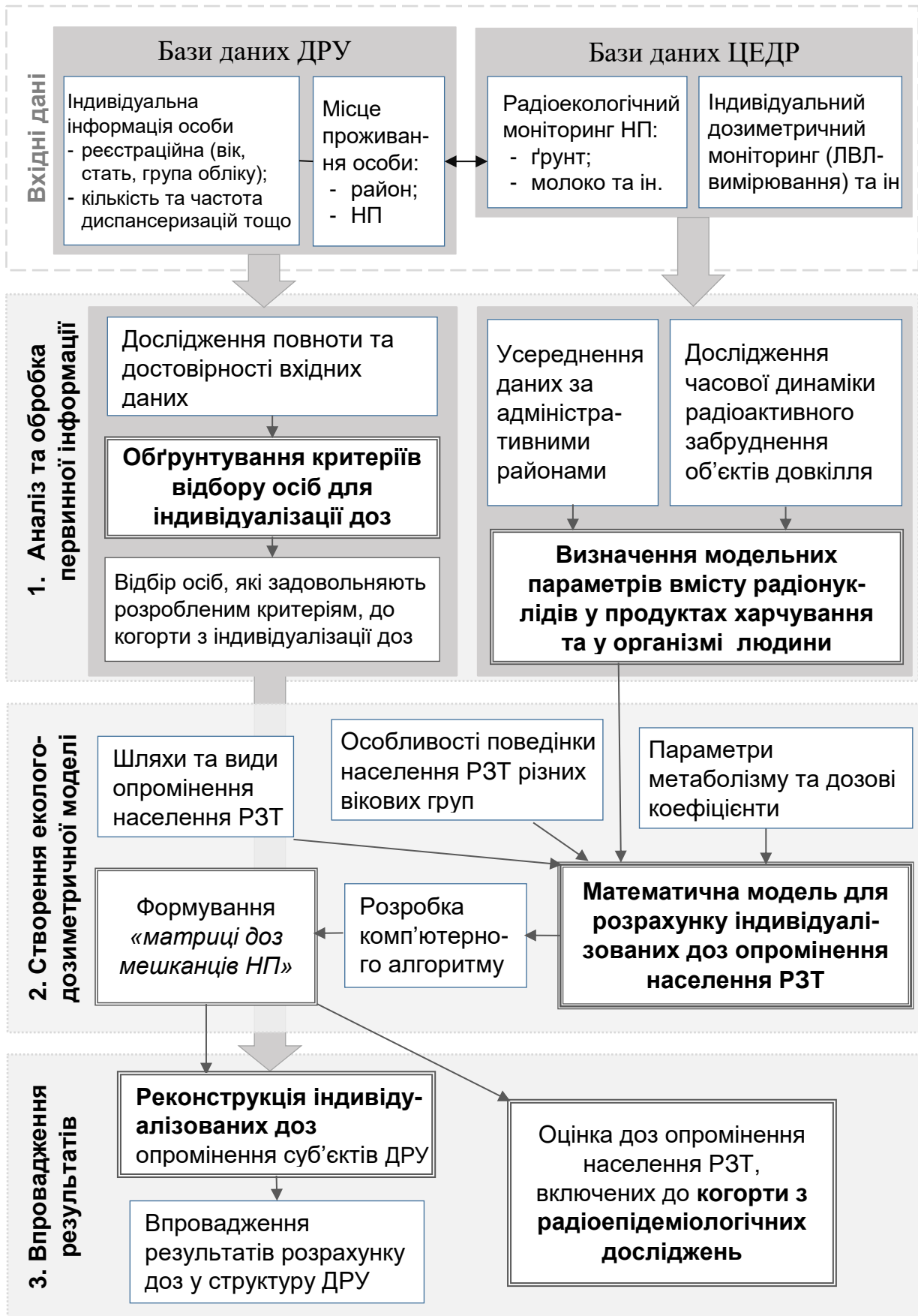


Рис. 1. Система реконструкції індивідуалізованих доз опромінення суб'єктів ДРУ



Оцінюється якість первинних даних, їхня інформаційна наповненість та достовірність. Визначаються особливості перебування суб'єкта ДРУ на радіоактивно забрудненій території, найбільш важливими з яких є тривалість проживання у тому чи іншому НП, міграція за межі району. Аналіз первинних даних та встановлення зв'язку даних ДРУ з базою ЦЕДР виконується за допомогою аналітично-програмної процедури. Результатом проведеного аналізу є критерії, згідно з якими формується субкогорта осіб з достовірними та достатньо повними первинними даними, необхідними для розрахунку доз опромінення.

На другому етапі створюються ЕДМ реконструкції доз опромінення населення РЗТ. Параметри моделей базуються насамперед на узагальненні результатів радіоекологічного (вимірювання концентрації радіонуклідів у ґрунті та продуктах харчування місцевого виробництва) і дозиметричного (вимірювання вмісту радіоїоду у щитоподібній залозі (ЩЗ), ЛВЛ-вимірювання) моніторинрів, які проводились упродовж післяаварійного періоду в НП, де мешкають суб'єкти ДРУ. Враховуючи, що частота та об'єм ЛВЛ- та молочного моніторинрів суттєво відрізнялися як для різних адміністративних районів, так і для НП у межах району, загальна структура ЕДМ є виражено район-специфічною. Інші параметри розроблених моделей пов'язані з особливостями поведінки населення та метаболізму радіонуклідів у організмі людини і сільськогосподарських тварин.

У результаті виконання другого етапу формується «матриця доз мешканців НП», структурними елементами якої є множина середніх річних ефективних доз зовнішнього і внутрішнього опромінення, поглинутих доз опромінення щитоподібної залози та червоного кісткового мозку, які могли б отримати мешканці РЗТ залежно від: (а) віку та статі особи; (б) НП проживання; (в) року після аварії з 1986 по 2018 роки включно. Для суб'єктів ДРУ, відібраних у субкогорті з індивідуалізації доз, на основі їхньої персональної інформації, отриманої з ДРУ, визначаються річні та накопичені за весь період проживання на РЗТ дози опромінення, визначені з використанням «матриці доз мешканців НП». Індивідуалізована дозиметрична інформація передається до ДРУ.

Дані «матриці доз мешканців НП» можуть бути застосовані для дозиметричного супроводу радіоепідеміологічних досліджень.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Аналіз первинних даних проведено для 459 470 суб'єктів ДРУ десяти адміністративних районів Київської (Іванківський район), Житомирської (Коростенський, Народицький, Овруцький, Олевський райони), Рівненської (Дубровицький, Рокитнівський, Сарненський райони) та Чернігівської (Козелецький, Ріпкинський райони) областей (рис. 2).

Критерії відбору суб'єктів ДРУ до субкогорти з індивідуалізації доз сформульовано наступним чином:

- суб'єкт належить до 3-ї або 4-ї груп обліку ДРУ, а саме: особи, що проживають на територіях, забруднених внаслідок аварії на ЧАЕС та діти, що народилися від батьків 1–3-ї груп обліку (ліквідаторів, евакуйованих та мешканців забруднених територій);

• для суб'єкта визначений НП проживання, який знаходяться на території одного з десяти зазначених вище районів, та встановлено зв'язок баз даних ДРУ та ЦЕДР;

- індивідуальна інформація щодо суб'єкта є достовірною;
- частота диспансеризацій становить не менше 1 разу на 3 роки;
- суб'єкт знаходиться на обліку в реєстрі більше 1 року та пройшов не менше 1 диспансеризації за весь час обліку.

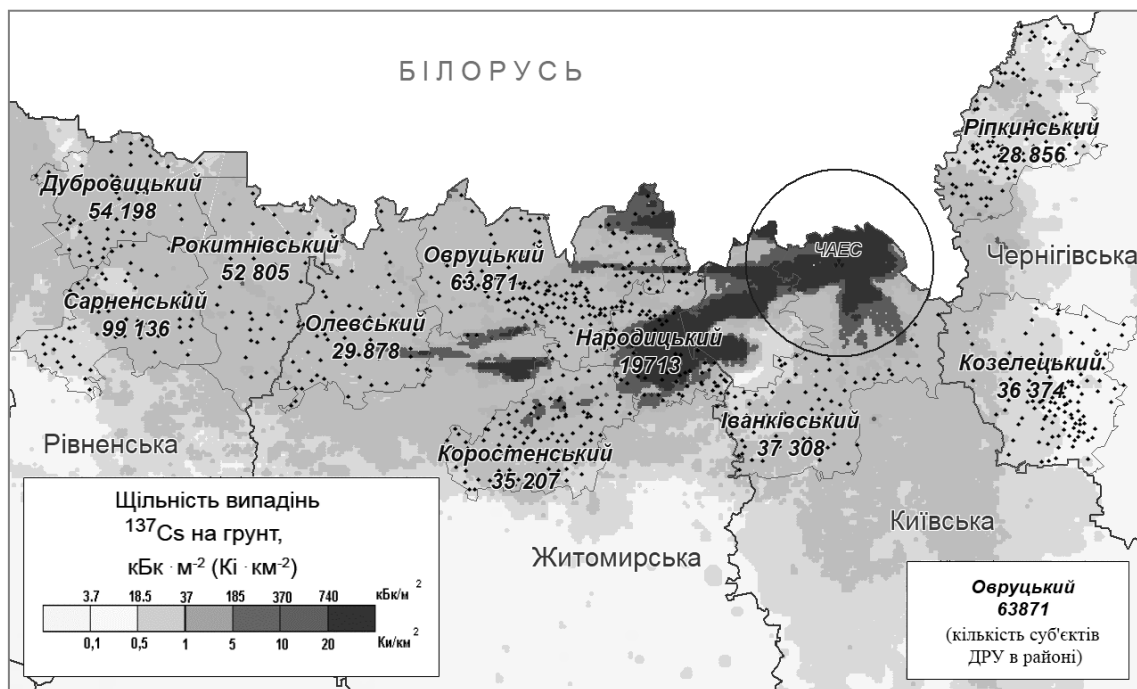


Рис. 2 Адміністративні райони України, для яких проводилась реконструкція доз опромінення (крапками позначені НП, де мешкають суб'єкти ДРУ)

З урахуванням вищезазначених критеріїв сформовано субкогарту з 341 436 осіб, що становить 74 % від усіх суб'єктів, зареєстрованих у 841 НП, розташованих на території десяти районів ДРУ. З них у Коростенському районі проживають 34 483 особи, Народицькому – 15 886 осіб, Овруцькому – 55 456 осіб, Олевському – 26 074 особи, Іванківському – 33 330 осіб, Дубровицькому – 37 076 осіб, Рокитнівському – 38 121 особа, Сарненському – 42 412 особи, Козелецькому – 33 204 особи, Ріпкинському – 25 394 особи.

*Дослідження шляхів формування доз опромінення населення РЗТ.* У першій післяаварійний рік внесок  $^{137}\text{Cs}$  у річну дозу зовнішнього гамма-опромінення населення РЗТ становив  $\sim 11\%$ , що пояснюється переважним внеском короткоіснуючих ізотопів  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{132}\text{Te} + ^{132}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$  та інших. У наступні роки  $^{137}\text{Cs}$  став основним дозоутворюючим радіонуклідом. Після 1986 р. активність  $^{137}\text{Cs}$  у ґрунті поступово спадала за рахунок радіоактивного розпаду та вертикальної міграції у нижні шари ґрунтового покриву.

З десяти районів, що досліджуються, ґрунти Народицького району є найбільш забрудненими радіоцезієм. У 1986 р. середня щільність забруднення  $^{137}\text{Cs}$

поверхні ґрунту цього району була у 3–15 разів вищою порівняно з іншими районами. Іванківський район, територія якого розташована у межах південного сліду Чорнобильського викиду, характеризується підвищеним порівняно з іншими районами вмістом радіостронцію у ґрунті. У 1986 р. середня щільність  $^{90}\text{Sr}$  на поверхні ґрунту цього району становила  $23 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ , що в 1,5 рази перевищувало цей показник для Народицького та Овруцького районів та у 4–7 разів – для інших досліджуваних районів, які знаходяться у межах західного сліду. За даними ЦЕДР на території Іванківського та Козелецького районів у окремих НП спостерігається вища щільність випадіннь  $^{90}\text{Sr}$  відносно  $^{137}\text{Cs}$  на ґрунті.

Величина коефіцієнту переходу  $^{137}\text{Cs}$  «ґрунт–молоко» залежить від типу ґрунту (рис. 3). Факт підвищеного вмісту радіоцезію у молоці приватних господарств, розташованих на окремих типах ґрунту, є важливим аргументом, що доводить необхідність зонування РЗТ залежно від дози опромінення, а не від радіоактивного забруднення ґрунту. Тобто, дозиметричний моніторинг є вкрай необхідним у випадку радіаційної аварії чи ядерного інциденту.

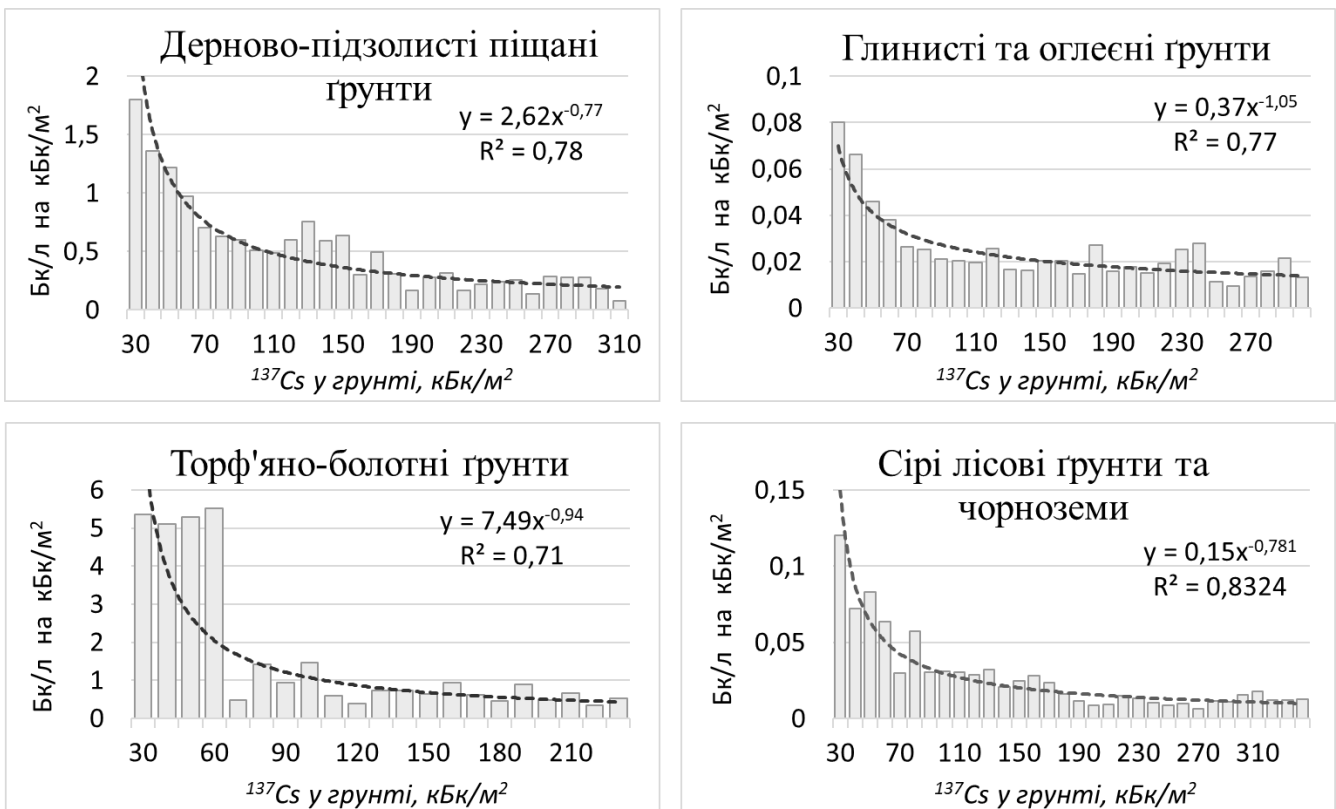


Рис. 3 Розподіл коефіцієнту переходу  $^{137}\text{Cs}$  «ґрунт–молоко» залежно від щільності випадіннь цього радіонукліду на поверхні ґрунту для різних типів ґрунту (за даними ЦЕДР)

Найбільші коефіцієнти переходу радіоцезію «ґрунт–молоко» мали місце у 1987 р., після цього відбувається поступове їхнє зниження. У 1995–2000 рр. спостерігалось локальне збільшення переходу  $^{137}\text{Cs}$  у молоко, оскільки в цей період на РЗТ відбувалось поступове згортання контрзаходів, що на фоні при-

родного зниження радіоактивності  $^{137}\text{Cs}$  внаслідок радіоактивного розпаду зумовило стрибки вмісту радіоцезію у молоці приватних господарств. З 2000 р. значення річних коефіцієнтів переходу були практично сталими (рис. 4).

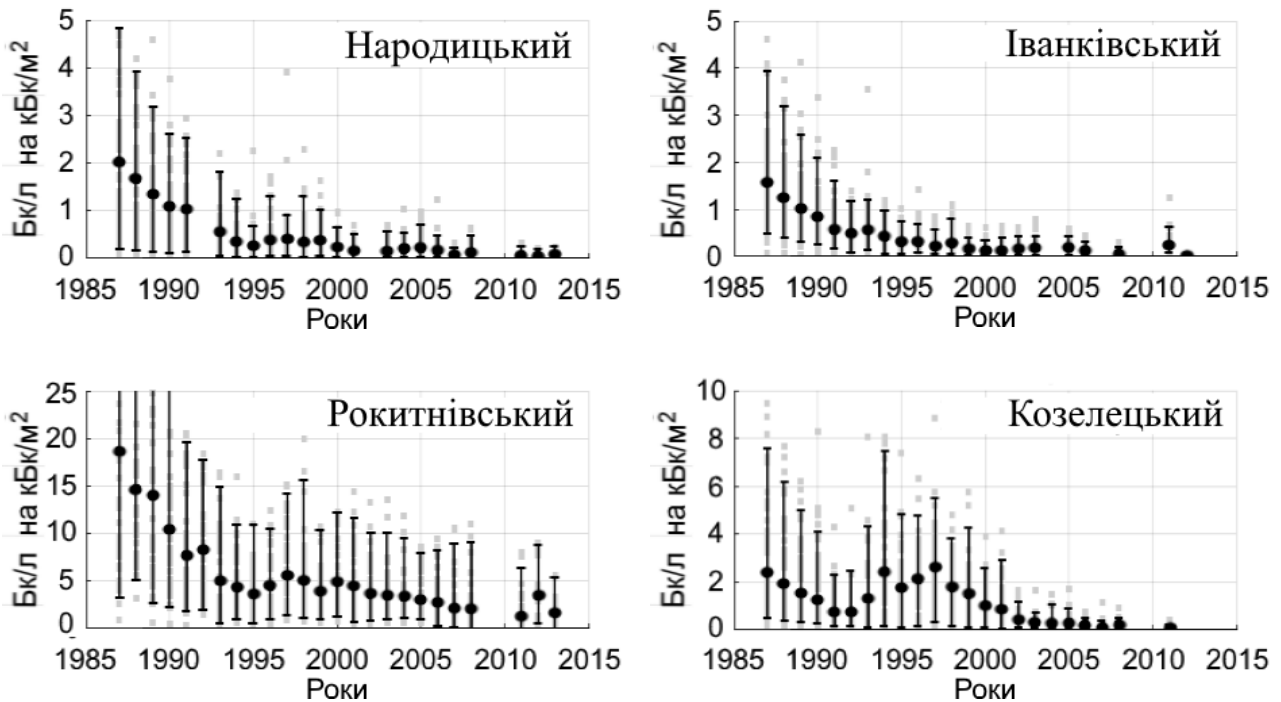


Рис. 4 Концентрація  $^{137}\text{Cs}$  у молоці, нормована на щільність випадінь  $^{137}\text{Cs}$  у 1986 р. на ґрунті у НП деяких досліджуваних районів (■) та її середньорайонні значення (●)

Найбільша концентрація  $^{137}\text{Cs}$  в молоці за всі роки спостережень виявлена у Дубровицькому та Рокитнівському районах Рівненської області, незважаючи на те, що щільність випадінь  $^{137}\text{Cs}$  на цих територіях є у декілька разів меншою, ніж у Житомирській та Київській областях. Це пов'язано з високими коефіцієнтами переходу «ґрунт–молоко» на торф'яно-болотних ґрунтах цих районів. Максимальні рівні забруднення молока у Дубровицькому та Рокитнівському районах спостерігались у 1989 р. і становили 1098 та 1272  $\text{Bk}\cdot\text{л}^{-1}$  відповідно. Навіть після 1997 року саме у зазначених районах концентрація  $^{137}\text{Cs}$  у молоці в окремих НП все ще перевищувала допустимі рівні. За період 1991–2013 рр. вміст радіоцезію у молоці приватних господарств всіх десяти досліджуваних районів зменшився в середньому у 4,5–7,5 разів.

В Іванківському та Козелецькому районах протягом 1998–2003 рр. спостерігалось зростання забруднення молока радіостронцієм. Таке зростання може бути пов'язане з поступовим вивільненням  $^{90}\text{Sr}$  з паливних частинок і підвищення його біодоступності, але протягом усього періоду спостережень в усіх десяти районах питома активність  $^{90}\text{Sr}$  у молоці не перевищувала допустимий рівень для цього продукту – 20  $\text{Bk}\cdot\text{л}^{-1}$ . Динаміка питомої активності  $^{90}\text{Sr}$  у молоці, нормованої на щільність випадінь радіостронцію на ґрунті НП, не має такої монотонності, як для радіоцезію. У більшості районів значення коефіцієнту пе-

реходу «грунт–молоко» для  $^{90}\text{Sr}$  було практично сталим з незначними коливаннями в інтервалі  $0,1\text{--}0,6 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$  на  $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$  у 1994–2005 рр. та у деяких районах мало тенденцію до зростання після 2010 року. (рис. 5).

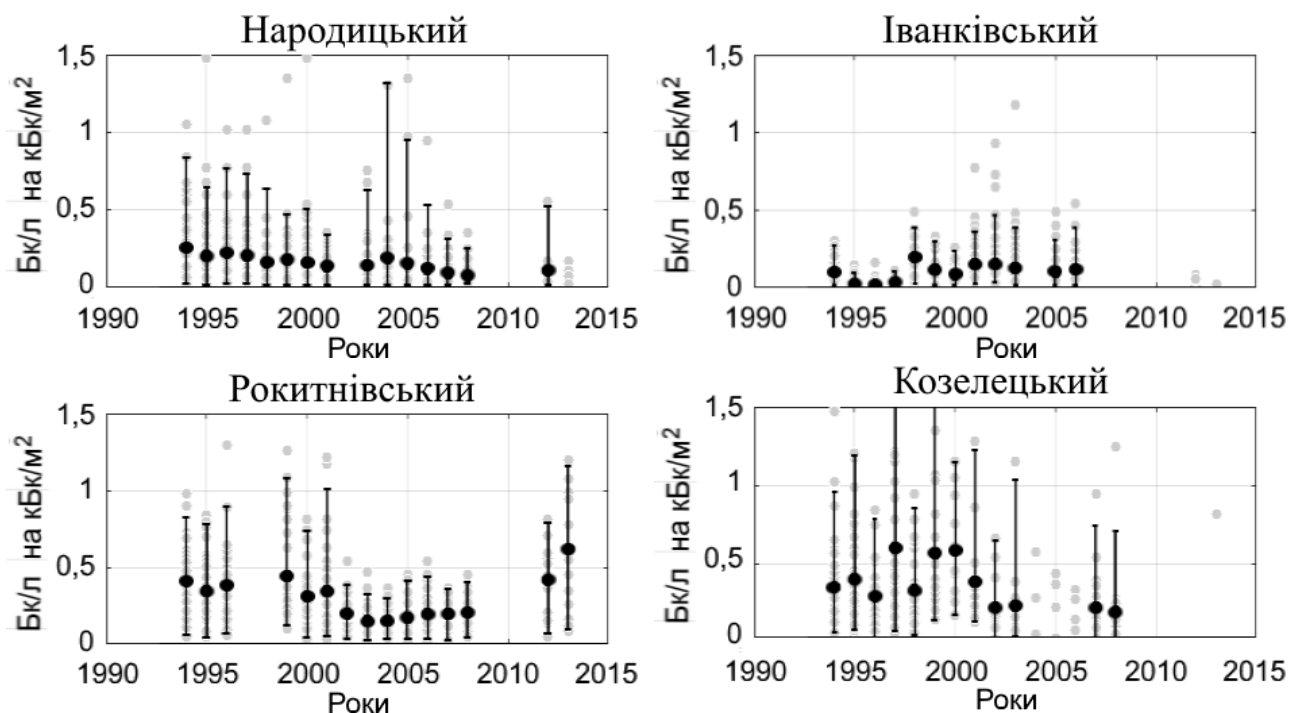


Рис. 5 Концентрація  $^{90}\text{Sr}$  у молоці, нормована на щільність випадінь  $^{90}\text{Sr}$  у 1986 р. на ґрунті у НП деяких досліджуваних районів (○) та її середньорайонні значення (●)

Концентрація  $^{137}\text{Cs}$  у картоплі приватних домогосподарств у 1991–2013 рр. була у 5–10 разів меншою, ніж у молоці. Протягом 1991–1994 рр. лише у деяких НП Овруцького, Дубровицького та Рокитнівського районів вміст радіоцезію у картоплі перевищував допустимий рівень  $60 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ . Починаючи з 1995 р. рівні забруднення картоплі  $^{137}\text{Cs}$  в середньому не перевищували  $30 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ .

Кількість ЛВЛ-вимірювань у десяти досліджуваних районах становить ~ 670 тис. (дані надані лабораторією ЛВЛ ІРГЕ ННЦРМ). Максимальна радіоактивність інкорпорованого в 1986 р.  $^{137}\text{Cs}$  у дітей була в 1,5–2,5 рази меншою, ніж у дорослих. Найбільший середній вміст  $^{137}\text{Cs}$  – понад 70 кБк у дорослих і близько 29 кБк у дітей зареєстровано в Народицькому районі. Найбільші дози внутрішнього опромінення у 1986 році за даними ЛВЛ-вимірювань отримали дорослі мешканці Народицького (3,8 мЗв), Дубровицького (1,8 мЗв), Рокитнівського (1,2 мЗв) та Ріпкинського районів (1,1 мЗв). У наступні роки доза внутрішнього опромінення зменшилась у 2–7 разів.

*Методологія реконструкції індивідуалізованих доз опромінення суб'єктів ДРУ.* Для суб'єкта ДРУ оцінюються:

- річні та накопичені ефективні дози зовнішнього опромінення від основних гамма-опромінюючих радіонуклідів чорнобильського викиду;
- ефективні річні та накопичені дози внутрішнього опромінення від радіонуклідів цезію ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{136}\text{Cs}$  та  $^{137}\text{Cs}$ );

- поглинуті річні та накопичені дози внутрішнього опромінення червоного кісткового мозку від радіонуклідів стронцію ( $^{89}\text{Sr}$  та  $^{90}\text{Sr}$ ).
- поглинута доза внутрішнього опромінення щитоподібної залози від радіонуклідів йоду ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{I}$  та  $^{132}\text{Te}+^{132}\text{I}$ ) у 1986 р.

Параметризація моделей для індивідуалізації доз опромінення осіб з ДРУ десяти досліджуваних районів визначається індивідуальними характеристиками (вік, стать, професія, НП проживання), а також видами, якістю та повнотою радіоекологічного і дозиметричного моніторинрів, які проводились на території цих районів у 1986–2014 рр. Ураховується досвід та результати низки НДР, що виконувались у лабораторії радіологічного захисту ІРГЕ ННЦРМ, міжнародних наукових проектів та публікацій (Likhtarev I. A. et al., 1996, 2002; Muck K. et al., 2002; Kovgan L., 2002). При цьому використовуються значення кінетичних параметрів та дозових коефіцієнтів, рекомендовані Міжнародною комісією з радіологічного захисту (МКРЗ).

*Ефективна доза зовнішнього опромінення представника професійно-вікової групи  $a$ , що проживав у  $j$ -му НП у  $T$ -й рік, оцінюється виразом:*

$$D_{a,j}^{ext,T} = \tilde{d}^{ext}(t) \cdot I_a^{ext} \cdot \sigma_{j,Cs}^{86} \cdot F_{a,j}, \quad (1)$$

де  $\tilde{d}^{ext}(t)$  – ефективна доза зовнішнього опромінення референтної дорослої людини у  $T$ -му році ззовні приміщення, нормована на одиницю щільності випадінь  $^{137}\text{Cs}$  на ґрунті ( $\text{Зв} \cdot \text{рік}^{-1}$  на  $\text{кБк} \cdot \text{м}^{-2}$ );

$I_a^{ext}$  – поправний коефіцієнт дози зовнішнього опромінення суб'єкта, який належить до дитячої/підліткової вікової групи  $a$  (б/р);

$F_{a,j}$  – фактор зниження дози опромінення за рахунок особливостей режиму поведінки особи професійно-вікової групи  $a$  (б/р);

$\sigma_{j,Cs}^{86}$  – щільність випадінь  $^{137}\text{Cs}$  на ґрунті для  $j$ -го НП у 1986 р. ( $\text{кБк} \cdot \text{м}^{-2}$ ).

Величина  $\tilde{d}^{ext}(t)$  розраховується від усіх гамма-випромінюючих радіонуклідів чорнобильського викиду для референтної дорослої людини (рис. 6) при умові, що така особа протягом 1 року постійно перебуває на відкритій місцевості.

$$\tilde{d}^{ext}(t) = \sum_r \tilde{E}_r^{ext} \cdot K_r \int_{t_1}^{t_2} h_r(t) dt, \quad (2)$$

де  $\tilde{E}_r^{ext}$  – дозовий коефіцієнт зовнішнього опромінення дорослої людини від радіонукліда  $r$  у складі випадінь на поверхні ґрунту ( $\text{Зв} \cdot \text{с}^{-1}$  на  $\text{кБк} \cdot \text{м}^{-2}$ );

$h_r(t)$  – функція послаблення ефективної дози від  $^{137}\text{Cs}$  (рис. 7) за рахунок вертикальної міграції радіоцезію з поверхні вглиб ґрунту та радіоактивного розпаду (б/р);

$K_r$  – приведені на 26 квітня 1986 р. референтне відношення радіоактивності  $r$ -го радіонукліда до радіоактивності  $^{137}\text{Cs}$  у випадіннях (б/р).

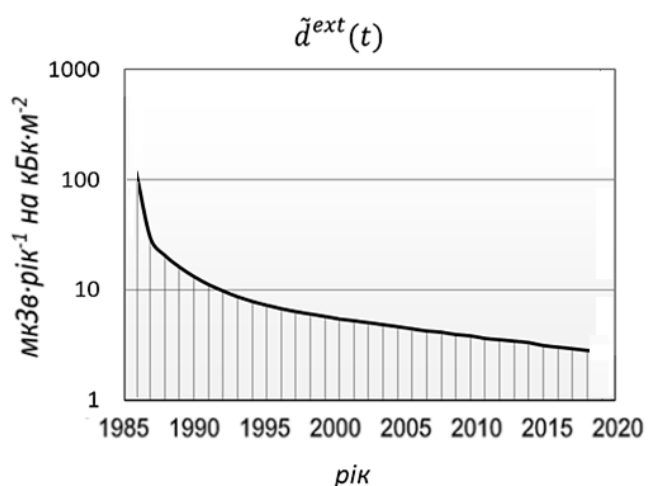


Рис. 6 Динаміка ефективної дози зовнішнього опромінення референтної дорослої людини, нормована на одиницю активності випадінь  $^{137}\text{Cs}$  на ґрунті

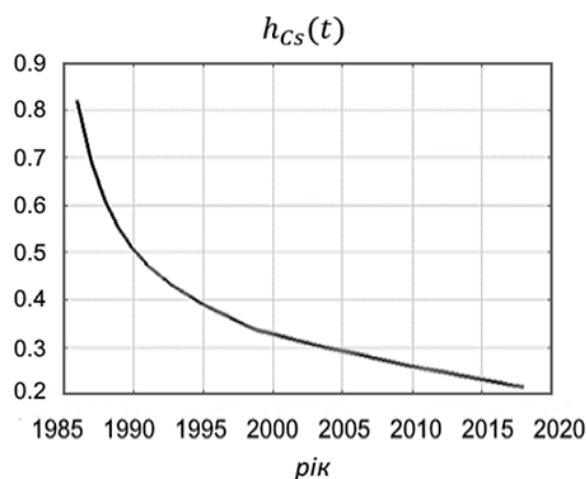


Рис. 7 Функція послаблення ефективної дози зовнішнього опромінення від радіонукліда  $^{137}\text{Cs}$

Середньорічна ефективна індивідуалізована доза внутрішнього опромінення суб'єкта ДРУ в 1986 р. у загальному вигляді обчислюється як сума доз від радіонуклідів чорнобильського походження ( $r$ ):

$$D_{a,j,s}^{int,86} = k_R \cdot \sigma_{j,Cs}^{86} \cdot RRI_{R,a,s} \cdot \sum_r E_{a,r}^{int} \cdot K_r \cdot \tilde{Q}_r^{86}, \quad (3)$$

де  $E_{a,r}^{int}$  – дозовий коефіцієнт внутрішнього опромінення від радіонукліда  $r$  для осіб вікової групи  $a$  на одиницю перорального надходження (Зв·Бк $^{-1}$ );  $RRI_{R,a,s}$  – відносне районне надходження  $^{137}\text{Cs}$  з раціоном представників статевовікової групи ( $a,s$ ) який мешкає у районі  $R$  (б/р);

$\tilde{Q}_r^{86}$  – нормоване на щільність випадінь  $^{137}\text{Cs}$  на ґрунті кумулятивне річне надходження активності радіонукліда  $r$  у організм дорослої людини у 1986 р. з раціоном (Бк·рік $^{-1}$  на КБк·м $^{-2}$ ), що залежить від концентрації радіонукліда  $r$  у коров'ячому молоці та у листових овочах, а також від добового споживання цих продуктів;

$k_R$  – корегуючий фактор, що залежить від особливостей харчування, контрзаходів та екологічних характеристик району (табл. 1) (б/р), який оцінюється з урахуванням тиреодозиметричного та ЛВЛ-моніторинрів у 1986 р.

Таблиця 1  
Значення район-специфічного параметру  $k_R$

Район	Величина $k_R$
Коростенський	0,65
Народицький	0,82
Овруцький	0,82
Олевський	0,65
Іванківський	0,76
Дубровицький	2,2
Рокитнівський	2,2
Сарненський	2,2
Козелецький	2,29
Ріпкинський	3,06

При реконструкції індивідуалізованих доз внутрішнього опромінення суб'єктів ДРУ радіонуклідом  $^{137}\text{Cs}$  у 1987–2018 рр.

пріоритет надається результатам ЛВЛ- та молочного моніторингів у НП проживання суб'єкта ДРУ (рис. 8).

**Реконструкція доз мешканців  $a$ -ї вікової групи  $j$ -го НП у  $T$ -му році ( $D_{a,j,s}^{int,T}$ )**

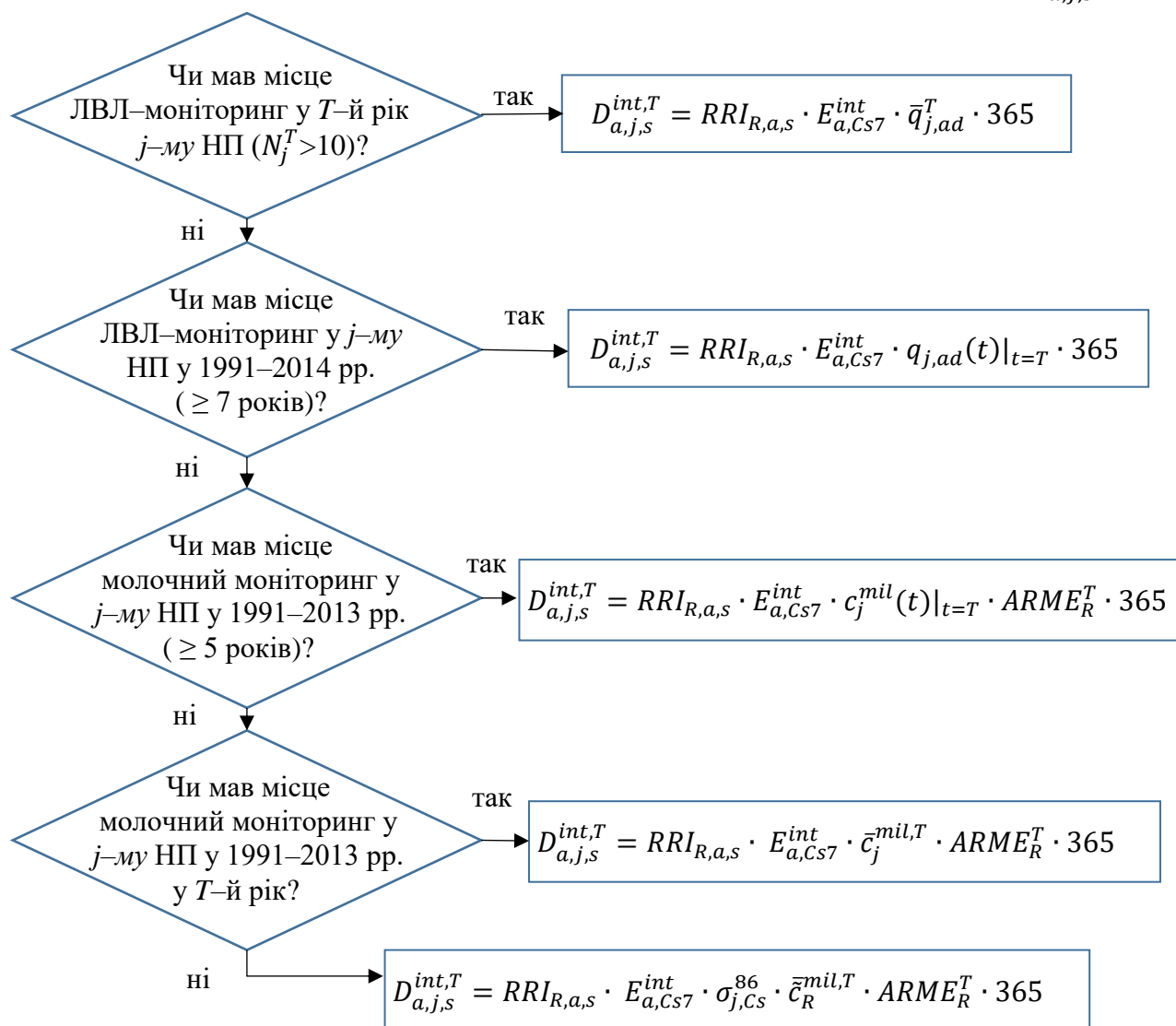


Рис. 8 Узагальнена схема реконструкції доз внутрішнього опромінення суб'єктів ДРУ у 1987–2018 рр. ( $N_j^T$  – кількість ЛВЛ-вимірювань у  $j$ -му НП у  $T$ -й рік;  $E_{a,Cs7}^{int}$  – дозовий коефіцієнт МКРЗ (Публікація 119) внутрішнього опромінення від  $^{137}\text{Cs}$  представника вікової групи  $a$  на одиницю перорального надходження, Зв·Бк $^{-1}$ )

За наявності у поточному році ЛВЛ-вимірювань у НП проживання суб'єкта ДРУ, доза внутрішнього опромінення оцінюється за середньорічною активністю інкорпорованого  $^{137}\text{Cs}$  в організмі дорослих осіб цього НП  $\bar{q}_{j,ad}^T$  (Бк). У іншому випадку – за апроксимаційною функцією  $q_{j,ad}(t)$  (рис. 9). Якщо ЛВЛ-моніторинг у НП відсутній, доза внутрішнього опромінення оцінюється за результатами молочного моніторингу в цьому НП (рис. 10). При цьому використовуються середні значення концентрації  $^{137}\text{Cs}$  у молоці приватних господарств  $\bar{c}_j^{mil,T}$  або їхня апроксимація  $c_j^{mil}(t)$ , (Бк·л $^{-1}$ ) і так званий молочний еквівалент раціону  $ARME_R^T$  (л·доба $^{-1}$ ) – середньо-районне гіпотетичне добове



споживання людиною молока з приватного господарства у поточному році, яке могло б забезпечити надходження в організм точно такої ж кількості  $^{137}\text{Cs}$ , як і весь раціон людини. При недостатності молочного моніторингу в окремих НП району, для реконструкції дози використовується нормована на щільність випадінь  $^{137}\text{Cs}$  на ґрунті середньорайонна концентрація  $^{137}\text{Cs}$  у молоці  $\bar{c}_R^{mil,T}$ ,  $\text{Бк}\cdot\text{л}^{-1}$  на  $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$  (рис. 4).

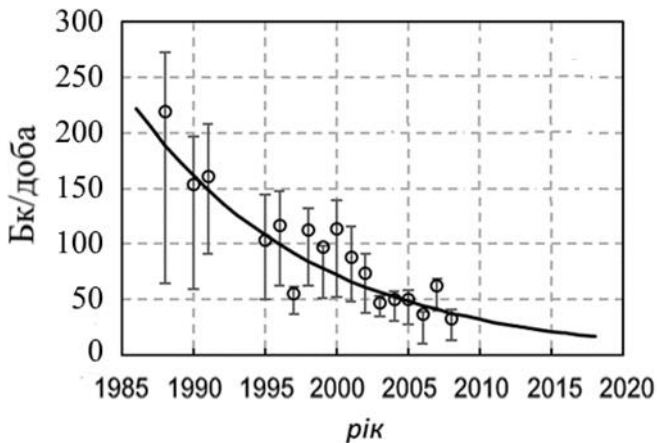


Рис. 9 Середньорічне надходження  $^{137}\text{Cs}$  з раціоном  $\bar{q}_{j,ad}^T$  ( $\circ$ ) та його апроксимація  $q_{j,ad}(t)$  (суцільна крива) для дорослих мешканців с. Березове Рокитнівського району

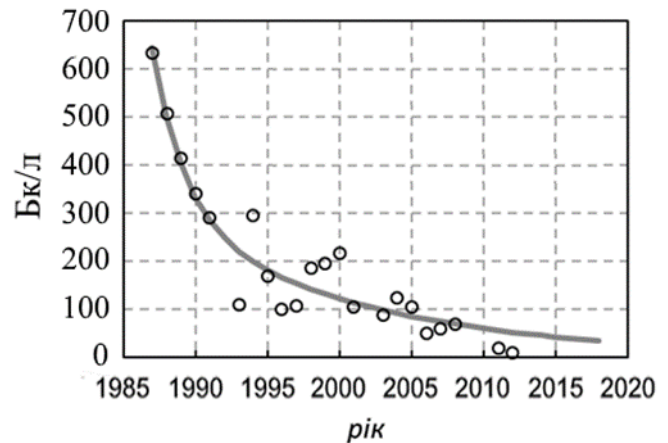


Рис. 10 Динаміка концентрації  $^{137}\text{Cs}$  у молоці  $c_j^{mil}(t)$  (суцільна крива), побудована за результатами вимірювань проб молока  $\bar{c}_j^{mil,T}$  ( $\circ$ ) у с. Кам'янівка Овруцького району

Для оцінки доз опромінення дітей та підлітків використовується загально-районний параметр – районне відносне надходження  $RRI_{R,a,S}$ , який характеризує єдине для всіх НП району співвідношення надходження  $^{137}\text{Cs}$  з раціоном харчування дітей/підлітків та дорослих кожної статі. Параметризація район-специфічних параметрів ( $\bar{c}_R^{mil,T}$ ,  $ARME_R^T$ ,  $RRI_{R,a,S}$ ) виконується за результатами молочного та ЛВЛ-моніторингу в усіх НП району  $R$ .

Методика розрахунку індивідуалізованих доз може бути адаптована для інших постраждалих районів України, за наявності ЛВЛ- та «молочного» моніторингу у цих районах.

Для оцінки доз внутрішнього опромінення ЩЗ використано трирівневу систему реконструкції поглинених доз опромінення ЩЗ (Likhtarov I. et al, 2013). Оцінки поглинених індивідуалізованих доз внутрішнього опромінення червоного кісткового мозку виконувались з використанням даних ЦЕДР щодо середньорайонного вмісту  $^{90}\text{Sr}$  у молоці (рис. 5), щільності забруднення ґрунту цим радіонуклідом, коефіцієнтів МКРЗ (Публікація 67) та районних параметрів  $ARME_R^T$  і  $RRI_{R,a,S}$ .

*Результати розрахунку індивідуалізованих доз.* Індивідуалізовані дози реконструйовано для 341 436 суб'єктів ДРУ. Визначено, що середня доза опромінення 1986 р. залежно від екологічної характеристики району перевищує дозу 1987 року в 2–5 разів.

За 33 післяаварійні роки найбільшого опромінення (табл. 2) зазнали суб'єкти ДРУ Народицького району, більшість яких (58 %) отримали накопичені за цей період дози > 50 мЗв. Зовнішнє опромінення було переважним у сумарній дозі мешканців цього району. Суб'єкти ДРУ Рокитнівського та Дубровицького районів накопичили дози опромінення в середньому від 20 до 50 мЗв. Їхні дози формувались здебільшого за рахунок внутрішнього опромінення від споживання продуктів харчування, вироблених на РЗТ. Мешканці, що постійно проживали в Коростенському, Овруцькому, Олевському та Іванківському районах, отримали за післяаварійний період середні дози у інтервалі від 10 до 20 мЗв. Більшість суб'єктів ДРУ Козелецького, Ріпкинського та Сарненського районів 33 роки накопичили ефективні дози менші 10 мЗв.

Річні та накопичені дози внутрішнього опромінення чоловіків (старших 7 років) приблизно у 1,5 раз перевищують дози для жінок. У дітей до 7 років дози приблизно однакові для обох статей. Річна ефективна доза внутрішнього опромінення для дітей у середньому перевищує дозу дорослих осіб у 1,5–1,8 разів.

Таблиця 2

Ефективні дози, накопичені дорослими суб'єктами ДРУ у різні часові інтервали за умови постійного проживання в НП реєстрації

Область, район	Періоди часу, роки					
	1986 – 1990 («5 років»)		1986 – 2000 («15 років»)		1986 – 2018 («33 роки»)	
	Накопичена доза, мЗв					
	середня	95 % квантіль	середня	95 % квантіль	середня	95 % квантіль
<b>Житомирська область</b>						
Коростенський	13	34	17	46	20	56
Народицький	32	51	43	69	54	84
Овруцький	14	26	19	35	23	44
Олевський	11	19	15	25	19	31
<b>Київська область</b>						
Іванківський	8,6	13	11	18	13	21
<b>Рівненська область</b>						
Дубровицький	15	28	21	39	25	46
Рокитнівський	16	25	24	43	29	54
Сарненський	10	25	13	33	15	39
<b>Чернігівська область</b>						
Козелецький	4,5	9,8	5,8	13	7,0	15
Ріпкинський	5,9	21	7,6	26	9,0	30

За перші 5 років (1986–1990 рр.) дорослі суб'єкти ДРУ накопичили в середньому ~ 62 % дози, отриманої за весь післяаварійний період (табл. 2). Більше 80 % дози опромінення було накопичено особами з ДРУ за перші 15 років після аварії.

Найбільшого опромінення ЩЗ (табл. 3) зазнали мешканці Народицького району, близько 80 % яких отримало поглинені дози ЩЗ більше 200 мГр

(середня доза – 506 мГр). Жителі Овруцького, Дубровицького та Рокитнівського районів отримали дози понад 100 мГр (середні дози становлять відповідно 194, 166 та 159 мГр). Середня доза на ЩЗ суб'єктів ДРУ, які мешкають у Коростенському районі складає 140 мГр. Суб'єкти ДРУ Олевського, Іванківського, Козелецького та Ріпкинського районів отримали дози опромінення ЩЗ, які в основному не перевищують 100 мГр. В усіх досліджуваних районах середнє відношення дози опромінення ЩЗ дітей віком до 2 років до дози дорослих становить 3,1–3,7. Для дітей 3–7 років цей показник дорівнює 1,7. Це пов'язано з тим, що маса ЩЗ у дітей є значно меншою, ніж дорослих.

Таблиця 3

Відносний розподіл осіб ДРУ десяти адміністративних районів за інтервалами поглинутих доз опромінення ЩЗ у травні–червні 1986 р.

Вік у 1986 р., років	Поглинута доза опромінення ЩЗ, мГр						
	<50	50–100	100–200	200–500	500–1000	1000–2000	>2000
	% від всіх осіб вікової групи						
Коростенський	9,1	42	32	15	1,6	0,3	–
Народицький	–	4	17	48	24	6,9	0,1
Овруцький	7,6	15	42	31	3,9	0,4	0,1
Олевський	14	51	30	4,2	0,7	0,1	–
Іванківський	37	33	24	5,5	0,5	–	–
Дубровицький	–	14	71	13	2	–	–
Рокитнівський	–	15	68	16	1	–	–
Сарненський	–	50	41	8,9	0,1	–	–
Козелецький	14	52	27	6,3	0,5	0,2	–
Ріпкинський	23	24	35	10	7,2	0,7	0,1

Серед досліджуваних районів найбільшу дозу опромінення від радіоізоотопів стронцію ( $^{90}\text{Sr}$  та  $^{89}\text{Sr}$ ) на червоний кістковий мозок отримали суб'єкти ДРУ, зареєстровані в Іванківському районі. У 1986 р. середня доза у дорослих осіб (старших 18 років) зазначеного району становить 0,55 мГр і в 1,5–5 разів перевищує дози, отримані мешканцями інших районів ДРУ. Цей факт безпосередньо пов'язаний з підвищеним вмістом  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{89}\text{Sr}$  у ґрунтах та продуктах харчування, вироблених на території Іванківського району.

За 33 роки після аварії на ЧАЕС суб'єкти ДРУ Іванківського району накопичили середню дозу на червоний кістковий мозок 8,5 мГр, Народицького – 5,4 мГр. Найменшу дозу (0,6 мГр) за цей період отримали мешканці Сарненського та Олевського районів.

Дози опромінення дітей від  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{89}\text{Sr}$  залежно від віку дитини у 2–20 разів більші, ніж у дорослих. Дитячий організм накопичує більше стронцію у кістковій тканині (у дорослих радіостронцій частково відкладається також і у м'яких тканинах організму), швидкість виведення з якої невелика.

*Використання результатів розрахунку доз у радіоепідеміологічних дослідженнях.* Розраховані індивідуалізовані дози придатні для дозиметричного супроводу радіоепідеміологічних, медичних та інших досліджень, оскільки розроблена у роботі система оцінки доз, уможливорює оцінку поглинутих доз на окремі органи (щитоподібна залоза, червоний кістковий мозок та інші).

*Дослідження захворюваності на рак ЩЗ серед дітей України, опроміненіх внаслідок Чорнобильської аварії.* У рамках спільного україно-американського дослідження (1996–2019 рр.) наслідків впливу радіоактивного йоду на здоров'я мешканців радіоактивно забруднених територій, опроміненіх у дитячому віці, досліджується когорта з 13 204 осіб, які під час аварії мешкали у найбільш радіоактивно забруднених північних районах Київської, Житомирської та Чернігівської областей, та мають принаймні одне пряме вимірювання активності  $^{131}\text{I}$  у ЩЗ, виконане у період з 30.04 по 30.06 1986 р. Дози опромінення ЩЗ оцінені в інтервалі від 0,35 мГр до 42 Гр, 95 % оцінок лежить у інтервалі між 1 мГр і 4,2 Гр, середнє арифметичне становить 0,65 Гр. Було виявлено статистично достовірний ризик радіоіндукованої захворюваності на рак ЩЗ у дітей та підлітків до 18 років на момент аварії. Середній ексцес відносного радіаційного ризику за перші 15 років після аварії був оцінений на рівні  $5,25 \text{ Гр}^{-1}$  (95% довірчий інтервал (СІ), 1,7–27), а за перші 22 роки – на рівні  $1,91 \text{ Гр}^{-1}$  (95% СІ, 0,4–6,3).

*Реконструкція індивідуальних доз опромінення ЩЗ мешканців України, зареєстрованих у Чорнобильському банку тканин (СТВ).* Для оцінки поглинутих доз опромінення ЩЗ суб'єктів СТВ розроблено чотирирівневу систему реконструкції. Рівень реконструкції вибирається згідно наявної інформації про наявність прямого вимірювання радіоактивності  $^{131}\text{I}$  в ЩЗ та місця проживання суб'єкта у 1986 році. Оцінки дози ЩЗ базуються або безпосередньо на результаті вимірювання радіоактивності ЩЗ особи, або опосередковано на даних вимірювань у інших мешканців цього ж НП або району. Всього дози розраховано для більше 3 тис. суб'єктів. Оцінки доз на ЩЗ суб'єктів СТВ було використано у низці радіобіологічних досліджень (Bogdanova, T., 2014, 2018).

*Дослідження раку молочної залози.* У міжнародному проекті «Breast Cancer in Belarus and Ukraine after the Chornobyl Accident» (2017–2018 рр.) досліджувався можливий вплив чорнобильського опромінення на захворюваність на рак молочної залози у жінок, що мешкають на радіоактивно забруднених територіях Білорусі та України. Порівнювались показники захворюваності на рак молочної залози до (1978–1985 рр.) та після аварії (1986–2016 рр.) у популяціях жінок трьох областей України (Київська, Житомирська та Чернігівська), які зазнали значного радіоактивного забруднення. Оцінювали середньорайонні поглинуті дози опромінення грудної залози внаслідок зовнішнього та внутрішнього опромінення для кожного району. Найвища середня накопичена за 30 років доза становила 70 мГр. За результатами дослідження не було виявлено статистично достовірного ексцесу радіаційного ризику захворюваності на рак молочної залози ані в Україні, ані у Білорусі.

## ВИСНОВКИ

1. У дисертаційній роботі вперше розроблено систему реконструкції індивідуалізованих доз опромінення суб'єктів ДРУ, яка є сукупністю взаємопов'язаних між собою процедур оцінки параметрів, що впливають на величину доз опромінення населення радіоактивно забруднених територій. Вхідною інформацією для системи є: індивідуальні деперсоніфіковані дані про особу, що передаються з ДРУ; результати радіоекологічного та дозиметричного моніторингів, які проводились у НП проживання особи, зареєстрованої у ДРУ, та зберігаються у Центральному еколого-дозиметричному реєстрі ННЦРМ.

2. Сформульовано та обґрунтовано критерії відбору осіб до субкогорти з індивідуалізації доз опромінення суб'єктів ДРУ. Згідно з цими критеріями сформовано когорту з мешканців десяти північних адміністративних районів Житомирської, Київської, Рівненської та Чернігівської областей, для яких індивідуалізація доз є можливою. Вона налічує 341 436 осіб, що становить 74 % від усіх мешканців цих районів, зареєстрованих у ДРУ.

3. Досліджено динаміку зовнішнього та внутрішнього опромінення мешканців радіоактивно забруднених територій та визначено основні радіоекологічні параметри, які впливають на величину дози, а саме: щільність радіоактивних випадінь, радіологічні властивості ґрунтів, вміст радіонуклідів у продуктах харчування та рівні споживання продукції місцевого виробництва населенням. Незважаючи на те, що щільність забруднення ґрунту радіоцезієм є найбільшою у Народицькому районі Житомирської області, концентрація  $^{137}\text{Cs}$  у молоці приватних господарств цього району у 2–7 разів менша порівняно з Дубровицьким та Рокитнівським районами Рівненської області, що пов'язано з високими коефіцієнтами переходу «ґрунт–молоко» на торф'яно-болотних ґрунтах цих районів. Це важливий аргумент на користь використання дозового критерію при зонуванні РЗТ.

4. Розроблено еколого-дозиметричні моделі реконструкції індивідуалізованих доз опромінення суб'єктів ДРУ. Індивідуалізована річна ефективна доза опромінення особи, зареєстрованої у ДРУ співпадає з середньою дозою, яку в НП проживання особи отримують представники тієї статево-вікової та професійної групи, до якої вона належить.

5. Проведено реконструкцію та передано до ДРУ індивідуалізовані дози опромінення 341 436 осіб, які мешкають у 841 НП десяти адміністративних районів України. Створено базу даних індивідуалізованих доз опромінення за період 1986–2018 рр., яка містить: річні та накопичені ефективні дози, річні та накопичені поглинуті дози на червоний кістковий мозок від радіонуклідів стронцію та поглинуті дози на щитоподібну залозу внаслідок її опромінення радіойодом у 1986 р.

6. У середньому доза опромінення 1986 року, залежно від екологічної характеристики району, перевищує дозу 1987 року в 2–5 разів, а доза за перші 5 років складає ~ 62 % від дози, накопиченої за 33 роки після аварії. Середня сумарна ефективна доза, накопичена дорослими на момент аварії суб'єктами

ДРУ за весь післяаварійний період, коливається від 54 мЗв (Народицького район) до 7,0 мЗв (Козелецький район). Більшість мешканців десяти районів отримали дозу на щитоподібну залозу в межах 100–1000 мГр. Середня накопичена дорослими за 33 роки доза на червоний кістковий мозок знаходиться в інтервалі від 0,6 мГр (Сарненський та Олевський райони) до 8,5 мГр (Іванківський район). Ефективна доза внутрішнього опромінення для дітей у середньому перевищує дозу дорослих осіб у 1,5–1,8 разів, поглинена доза на червоний кістковий мозок від радіостронцію – у 2–20 разів, а поглинена доза на ЩЗ – у 1,7–3,7 разів.

7. Результати роботи використано у низці міжнародних радіоепідеміологічних досліджень, за результатами яких було виявлено статистично достовірний експес відносного радіаційного ризику захворюваності на рак ЩЗ у дітей та підлітків до 18 років на момент аварії на рівні  $5,25 \text{ Гр}^{-1}$  [95% CI, 1,7–27], але не було виявлено статистично достовірного експесу радіаційного ризику захворюваності на рак молочної залози.

## СПИСОК РОБІТ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. **Іванова О. М.**, Ковган Л. М., Масюк С. В. Методика реконструкції індивідуалізованих доз опромінення осіб, що мешкають на радіоактивно забруднених територіях України. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2018. Вип. 23. С. 167–187 (*внесок здобувача: участь у розробці методики реконструкції доз; створення процедур оцінки окремих параметрів моделей; участь в обговоренні результатів досліджень та формулюванні висновків*).

2. **Іванова О. М.**, Масюк С. В., Бойко З. Н., Чепурний М. І. та ін. Реконструкція індивідуалізованих доз суб'єктів Державного реєстру України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи, що проживають в Коростенському районі Житомирської області. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2017. Вип. 22. С. 126–146 (*внесок здобувача: розробка моделі розрахунку доз внутрішнього опромінення населення різних професійно-вікових груп; аналіз результатів розрахунку доз; участь у формулюванні висновків*).

3. Ліхтарьов І., Ковган Л., **Іванова О.**, Масюк С., Чепурний М. та ін. Загальнодозиметрична паспортизація населених пунктів України та реконструкція індивідуалізованих доз суб'єктів Державного реєстру України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи (досвід, результати та перспективи). Журнал Націон. академії медичних наук України. 2016. Т. 22, № 2. С. 208–221 (*внесок здобувача: аналіз розподілу населених пунктів РЗТ України за величиною паспортної дози; участь у формуванні таблиць та формулюванні висновків*).

4. Василенко В. В., **Іванова О. М.**, Литвинець Л. О., Пікта В. О., Задорожна Г. М., Чепурний М. І., Ліхтарьов І. А. Експериментальне відновлення процедури проведення ЛВЛ-вимірювань 1986 року. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2016. Вип. 21. С. 119–131 (*внесок здобувача: розробка підходів до визначення мінімально-детектованої активності ЛВЛ-вимірювання; ревізія бази даних ЛВЛ-вимірювань 1986 року*).

5. Ліхтарьов І. А., Ковган Л. М., Масюк С. В., **Іванова О. М.**, Чепурний М. І.

та ін. Узагальнені результати реконструкції індивідуалізованих доз суб'єктів Державного Реєстру України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2015. Вип. 20. С. 104–126 (*внесок здобувача: обґрунтування умов відбору осіб із ДРУ у когорті з індивідуалізації доз; розробка форматів, адаптованих до загальної структури баз даних ДРУ, за якими передається інформація про розраховані дози*).

6. Likhtarov I., Kovgan L., Masiuk S., Talerko M., Cherpurny M., **Ivanova O.**, Gerasymenko V., Boyko Z., Voillequé P., Drozdovitch V., Bouville A. Thyroid cancer study among Ukrainian children exposed to radiation after the Chernobyl accident: improved estimates of the thyroid doses to the cohort members. Health Phys. 2014. Vol. 106, No 3. P. 370–396 (*внесок здобувача: визначення рівнів споживання молока; робота з анкетами, дослідження невизначеностей відповідей респондентів; оцінка внеску радіоцезію у дозу опромінення щитоподібної залози*).

7. Лихтарев И., Ковган Л., Масюк С., **Иванова О.**, Чепурный Н. та ін. Реконструкция индивидуализированных доз внутреннего облучения субъектов Государственного регистра Украины: Сообщение 1. Локально-специфические модели и дозы облучения жителей Рокитновского района Ровенской области, Овручского района Житомирской области и Иванковского района Киевской области. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2014. Вип. 19. С. 80–101 (*внесок здобувача: участь у розробці еколого-дозиметричної моделі реконструкції доз внутрішнього опромінення суб'єктів зазначених районів; оцінка окремих параметрів моделі*).

8. Лихтарев И., Ковган Л., Масюк С., **Иванова О.**, Чепурный Н. та ін. Реконструкция индивидуализированных доз внутреннего облучения субъектов Государственного регистра Украины: Сообщение 2. Локально-специфические модели и дозы облучения жителей Козелецкого и Репкинского районов Черниговской области. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2014. Вип. 19. С. 102–125 (*внесок здобувача: участь у розробці еколого-дозиметричної моделі реконструкції доз внутрішнього опромінення; оцінка окремих параметрів моделі*).

9. Likhtarov I., Kovgan L., Masiuk S., Cherpurny M., **Ivanova O.**, Gerasymenko V., Boyko Z. et al. Estimating thyroid masses for children, infants, and fetuses in Ukraine exposed to  $^{131}\text{I}$  from the Chernobyl accident. Health Phys. 2013. Vol. 104, No 1. P. 78–86 (*внесок здобувача: участь у зборі та аналізі даних щодо вимірювань ваги щитоподібної залози за результатами аутопсії; участь у статистичній обробці та інтерпретації залежності «вік особи – маса ЩЗ»*).

10. Likhtarov I., Thomas G., Kovgan L., Masiuk S., Cherpurny M., **Ivanova O.**, Gerasymenko V., Tronko M., Bogdanova T., Bouville A. Reconstruction of individual thyroid doses to the Ukrainian subjects enrolled in the Chernobyl tissue bank. Rad Prot Dosim. 2013. Vol. 156, No 4. P. 407–23. (*внесок здобувача: участь у розробці критеріїв класифікації суб'єктів СТВ когорти за методом реконструкції поглинутої дози опромінення ЩЗ; оцінка окремих параметрів екологічної моделі*).

11. **Иванова О. М.**, Герасименко В. Б., Бойко З. Н. Розробка системи індивідуалізації рівнів опромінення осіб з населення, які мешкають в Овруцькому районі Житомирської області та Іванківському районі Київської області і знаходяться на обліку в Державному реєстрі України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської аварії. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології

: зб. наук. праць. Київ «ДІА», 2011. Вип. 16 С. 30–40 (*внесок здобувача: розробка дизайну дослідження; обґрунтування критеріїв відбору контингенту осіб для розрахунку доз; розробка ЕДМ розрахунку доз; формулювання висновків*).

12. **Іванова О.**, Герасименко В. Кількісна оцінка невизначеності відповідей респондентів у дозиметричному інтерв'юванні в рамках епідеміологічного дослідження. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2009. Вип. 14. С. 58–65 (*внесок здобувача: розробка алгоритму кількісної оцінки невизначеності відповідей респондентів у інтерв'юванні в рамках епідеміологічного дослідження; оцінка коефіцієнту невизначеності; формулювання висновків*).

## АНОТАЦІЯ

**Іванова О. М. Розробка системи реконструкції доз опромінення суб'єктів з Державного реєстру України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи** – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 03.00.01 – «Радіобіологія». Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України», Київ, 2019.

Дисертація присвячена створенню системи реконструкції доз опромінення населення, яке мешкає на радіоактивно забруднених територіях України, та впровадженню отриманих результатів у бази даних «Державного реєстру України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи» (ДРУ) для дозиметричного супроводу радіоепідеміологічних та клінічних досліджень. Розроблена система є сукупністю взаємопов'язаних між собою процедур оцінки параметрів, що впливають на величину доз опромінення населення радіоактивно забруднених територій. Вхідною інформацією для неї є індивідуальні дані про особу, що передаються з ДРУ, та результати радіоекологічного і дозиметричного моніторингів, які проводились у населеному пункті проживання цієї особи.

Проведено реконструкцію та передано до ДРУ дози опромінення 341 436 мешканців десяти адміністративних районів України. Створено базу даних індивідуалізованих доз опромінення за період 1986–2018 р., яка містить: річні та накопичені ефективні дози, річні та накопичені поглинуті дози на червоний кістковий мозок від радіонуклідів стронцію та поглинуті дози на щитоподібну залозу від радіонуклідів йоду. Результати роботи використано у низці міжнародних радіоепідеміологічних досліджень.

**Ключові слова:** іонізуюче випромінювання, еколого-дозиметрична модель, медико-дозиметричний реєстр, радіаційний ризик, реконструкція доз опромінення, Чорнобильська катастрофа.

## АННОТАЦИЯ

**Иванова О. Н. Разработка системы реконструкции доз облучения субъектов из Государственного регистра Украины лиц, пострадавших вследствие Чернобыльской катастрофы** – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата биологических наук



(доктора философии) по специальности 03.00.01 – «Радиобиология». Государственное учреждение «Национальный научный центр радиационной медицины Национальной академии медицинских наук Украины», Киев, 2019.

Диссертация посвящена созданию системы реконструкции доз облучения населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях Украины и внедрению полученных результатов в базу данных «Государственный регистр Украины лиц, пострадавших вследствие Чернобыльской катастрофы» (ГРУ) для дозиметрического сопровождения радиоэпидемиологических и клинических исследований. Система представляет собой совокупность взаимосвязанных между собой процедур оценки параметров, влияющих на величину доз облучения населения радиоактивно загрязненных территорий. Входной информацией для нее являются индивидуальные данные относительно субъекта, которые передаются из ГРУ, и результаты радиоэкологического и дозиметрического мониторингов, проводимых в населенном пункте проживания этого субъекта.

Проведена реконструкция доз облучения для 341 436 жителей десяти административных районов Украины, результаты которой переданы в ГРУ. Создана база данных индивидуализированных доз облучения за период 1986–2018 гг., содержащая годовые и накопленные эффективные дозы, годовые и накопленные поглощенные дозы на красный костный мозг от радионуклидов стронция и поглощенные дозы на щитовидную железу от радионуклидов йода. Результаты работы использованы в ряде международных радиоэпидемиологических исследований.

**Ключевые слова:** *ионизирующее излучение, медико-дозиметрический регистр, радиационный риск, реконструкция доз облучения, Чернобыльская катастрофа, эколого-дозиметрическая модель.*

## SUMMARY

**O. Ivanova. Development of an exposure doses reconstruction system for subjects from the State Register of Ukraine of persons, affected due to Chernobyl accident.** – Manuscript.

Dissertation for the candidate biological sciences degree in specialty 03.00.01 – radiobiology. – State Institution "National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine". Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to development of the exposure doses reconstruction system for population living in Ukrainian radioactively contaminated territories (RCT) and implementation of obtained results to database of the State Register of Ukraine of persons, affected due to Chernobyl accident (SRU) for further dosimetric support of radio-epidemiological and clinical investigations. The system is a set of interrelated procedures for estimation parameters that are influenced on exposure doses of both population from radioactively contaminated territories in general and the SRU subjects in particular. This system is based on ecological and dosimetric models, which take into account the personalized individual information about persons registered in SRU, as well as radioecological (soil, food) and dosimetric (whole body counter and thyroid measurements) monitoring data for all post-accident time in Ukraine, which are stored in the Central Environmental Dosimetry Registry of the NRCRM (CEDR).

The criteria for selection of SRU subjects to the dose individualization subcohort are substantiated. These criteria take into account the completeness and reliability of initial information. Considering the criteria, a subcohort for dose individualization of 341,436 people was formed. It represents 74% of all SRU subjects residing on the most contaminated areas of Zhytomyr, Kyiv, Rivne and Chernihiv oblasts.

The dynamics of RCT residents' external and internal exposure were investigated and the main radioecological parameters influencing the dose were determined, namely: the radioactive fallout density, radiological properties of soils, content of radionuclides in foodstuffs and the population consumption levels of locally produced food.

Models of individual dose reconstruction have been developed, scientifically substantiated and parameterized. For the SRU subject, the following are estimated: annual and accumulated effective external exposure dose from the main gamma-irradiating radionuclides of the Chernobyl radioactive release; effective annual and accumulated internal  $^{134,136,137}\text{Cs}$  exposure dose from the consumption of radioactively contaminated food, primarily milk, vegetables, wild berries and mushrooms; absorbed annual and accumulated internal bone marrow exposure dose from strontium ( $^{89}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Sr}$ ); absorbed internal thyroid exposure dose from iodine ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{I}$  and  $^{132}\text{Te}+^{132}\text{I}$ ) in 1986.

Individualized doses were reconstructed for 341,436 SRU subjects. A database of individualized exposure doses for the period of 1986–2018 was created and transmitted to the SRU. Exposure dose in 1986 exceeds the dose of 1987 by 2–5 times, and the dose for the first 5 years is ~ 62% of the dose accumulated for 33 years after the accident. The average effective dose accumulated by adult SRU subjects for the entire post-accident period ranges from 54 mSv (Narodichi raion) to 7.0 mSv (Kozelets raion). Most residents of ten raions received a thyroid dose of 100–1000 mGy. The average red bone marrow dose accumulated by adults over 33 years is in the range from 0.6 mGy (Sarny and Olevsk raions) to 8.5 mGy (Ivankiv raion). The effective dose of internal radiation for children exceeds the dose of adults in 1.5–1.8 times, the absorbed dose to the red bone marrow from radiostrontium – in 2–20 times, and the absorbed dose to the thyroid gland – in 1.7–3.7 times. Annual and cumulative doses of internal exposure for men older than 7 years are approximately 1.5 times greater than those for women. The annual effective dose of internal exposure in children exceeds the adult dose by 1.5–1.8 times.

Individualized dose estimates obtained in the work have been used in international radio epidemiological studies. In the framework of a joint Ukrainian-American study of thyroid cancer incidence among children of Ukraine exposed as a result of the Chornobyl accident, thyroid exposure doses were estimated in the range of 0.35 mGy to 42 Gy, 95% of estimates are in the range between 1 mGy and 4.2 Gy, the arithmetic mean is 0.65 Gy. In the project “Breast Cancer in Belarus and Ukraine after the Chernobyl Accident” the potential impact of Chernobyl radiation on breast cancer incidence in women living in radioactively contaminated territories of Belarus and Ukraine was investigated. The highest average dose accumulated over 30 years was 70 mGy (Poliske raion).

**Keywords:** *ionizing radiation, ecological and dosimetric model, medical and dosimetric register, radiation risk, reconstruction of exposure doses, the Chornobyl accident.*

## СПИСОК АБРЕВІАТУР

СТВ	– Чорнобильський банк тканин
БД	– база даних
ДРУ	– Державний реєстр України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи
ЕДМ	– еколого-дозиметрична модель
ІРГЕ	– Інститут радіаційної гігієни і епідеміології ННЦРМ
ЛВЛ	– лічильник випромінювання людини
МКРЗ	– Міжнародна комісія з радіологічного захисту
МОЗ	– Міністерство охорони здоров'я України
МОН	– Міністерство освіти і науки України
НДР	– науково-дослідна робота
ННЦРМ	– Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України»
НП	– населений пункт
РЗТ	– радіоактивно забруднені території
ЦЕДР	– Центральний еколого-дозиметричний реєстр ННЦРМ
ЧАЕС	– Чорнобильська атомна електростанція
ЩЗ	– щитоподібна залоза

Підписано до друку 04.11.2019 р. Формат 60x90 1/16.  
Папір офсетний. Умовн. др. арк. 0,9.  
Друк різнограф. Тираж 120 прим. Зам. № 0411/01.

---

Надруковано ФОП Гузік О.М.  
Податковий номер №2705814113  
м. Київ, вул. Б. Гаврилишина, 16  
Тел.: 338-16-61.