



**А. М. СЕРДЮК**

*А. М. Сердюк, президент Національної академії медичних наук (НАМН) України, директор ДУ «Інститут гігієни та медичної екології імені О. М. Марзєєва НАМН України», академік НАМН України, доктор медичних наук, професор*

*Д. А. Бази́ка, генеральний директор ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН України», член-кореспондент НАМН України, доктор медичних наук, професор*

*І. П. Лось, завідувач відділу радіаційної гігієни ДУ «Інститут гігієни та медичної екології імені О. М. Марзєєва НАМН України», доктор біологічних наук, професор*

*А. Є. Присяжнюк, завідувач лабораторії епідеміології раку ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН України», доктор медичних наук, професор*

*В. В. Чумак, завідувач лабораторії дозиметрії зовнішнього опромінення ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН України», доктор біологічних наук, старший науковий співробітник*

## Проблеми радіаційної медицини та безпеки України в ХХІ столітті: історичне минуле та сучасні завдання

Іонізуюча радіація належить до ключових факторів забезпечення біологічної еволюції та генетичної мінливості. Водночас негативні радіаційні ефекти, наочно продемонстровані у другій половині ХХ ст., показали небезпеку некерованого застосування ядерної енергії, ініціювали розвиток радіаційної медицини та радіаційної безпеки. Нині в усьому світі спостерігається зростання активності в галузі енергетичних ядерних технологій. Якщо на період аварії на ЧАЕС у світі працювало 380 ядерних енергетичних блоків, то сьогодні вже 439, із них 104 — у США, 59 — у Франції, 55 — в Японії. Будуються 35 блоків, планується ще 210. Понад 40 без'ядерних країн заявили про намір створення ядерних енергетичних комплексів [13]. Амбітну програму розвитку атомної енергетики започатковано і Україною [3], що є в принципі можливим в умовах післячорнобильської перестороги до застосування

атомної енергії тільки при впровадженні найвищих стандартів регуляторних документів, радіаційної безпеки та системи медичного реагування на аварійні ситуації, відкритої інформації про дозові навантаження.

Наведені оцінки показують, що середньозважена сумарна еквівалентна доза від джерел природного походження становить для України 3,5 мЗв/рік. Внесок керованої компоненти при цьому оцінюється у 2,8 мЗв/рік, причому 72 % цієї дози формується за рахунок  $^{222}\text{Rn}$  у повітрі приміщень. Дослідження Інституту гігієни та медичної екології імені О. М. Марзєєва НАМН України показали фактичне зниження еквівалентної дози для населення у 2 рази за рахунок збільшення пропорції міського населення та структури житлового фонду. Дози для сільського населення змінюються меншою мірою [10].

Як наслідок розробки нових радіаційних технологій, а також аварійного опромі-

нення відбувається трансформація структури дозових навантажень із збільшенням пропорції опромінення за рахунок штучних джерел. Значно зростають еквівалентні дози для населення завдяки діагностичним та медичним процедурам. До основних шляхів опромінення у XXI ст. належать також опромінення населення та персоналу внаслідок виробництва ядерної енергії на об'єктах ядерного циклу та атомних електростанціях, при неядерному виробництві електроенергії, в гірничій та металургійній промисловості, через аварійну ситуацію. Дози та ефекти при вказаних видах опромінення стали предметом зростаючої уваги та узагальнення з боку ВООЗ та Наукового комітету ООН з дії атомної радіації (НКДАР ООН) [17].

### Вплив Чорнобильської катастрофи

Наслідки Чорнобильської катастрофи на здоров'я людей є багатограними і пов'язані як із прямим впливом іонізуючої радіації, так і з іншими негативними чинниками аварії.

Відразу після аварії гостру променеву хворобу (ГПХ) було діагностовано у 237 осіб, після ретроспективного аналізу у 1989 р. діагнози було підтверджено у 134 пацієнтів, які отримали в ранній період аварії дози 1–12 Гр. Медична допомога, яка надавалася цим хворим у ранньому періоді в спеціалізованих лікувальних закладах Російської Федерації та України, а в подальшому – в Національному науковому центрі радіаційної медицини (ННЦРМ) НАМН України, сприяла їх виживанню. Протягом перших трьох місяців після аварії померли 28 хворих. У наступні роки 23 смерті були зареєстровані у пацієнтів із верифікованою ГПХ і 17 — серед тих, у кого ГПХ не була підтверджена. Основними причинами летального кінця були онкологічні та серцево-судинні захворювання. Радіаційні катаракти було діагностовано у 24 хворих: у 10 — з ГПХ-III, 8 — з ГПХ-II, 3 — з ГПХ-I та 3 хворих із непідтвердженою ГПХ. Практично у всіх випадках (96 %) катаракти розвинулися упродовж перших 15 років після опромінення. Дані епідеміологічних досліджень, проведених Інститутом медицини праці НАМН України спільно з Колумбійським уні-

верситетом (США), показують також зростання захворюваності катарактою в когорті з 8607 учасників ліквідації наслідків аварії (ЛНА), які зазнали опромінення у менших дозах, починаючи з 250–300 мЗв. Ці дослідження отримали міжнародне визнання і стали підґрунтям для перегляду лімітів професійного опромінення кристалика ока, нещодавно прийнятих Міжнародною комісією радіаційного захисту. Тим не менше, досі не розв'язаним залишається питання щодо стохастичного або детерміністського характеру радіогенної катаракти. Результати інших постчорнобильських досліджень, що вказують на вплив опромінення при передчасному розвитку судинної та вікової катаракти, а також макулодистрофії, повинні отримати своє підтвердження в майбутньому.

Онкологічні захворювання є загально-визнаним ефектом опромінення і описані як стохастичні ефекти у віддалений після атомних бомбардувань період. До «ранніх» раків відносять раки щитоподібної, молочної залози та лейкомію. Серед населення України, яке зазнало впливу негативних факторів Чорнобильської катастрофи, першим визнаним наслідком радіаційного опромінення став підвищений ризик розвитку раку щитоподібної залози (РЩЗ). Значне підвищення частоти РЩЗ серед пацієнтів, опромінених у дитячому віці, було зафіксоване, починаючи з 4–5 років після аварії, та достовірно пов'язується з опроміненням щитоподібної залози (ЩЗ) радіонуклідами йоду, в основному  $^{131}\text{I}$ . Чорнобильським форумом ООН (2006) було зафіксовано понад 5000 випадків РЩЗ в опромінених у дитячому віці. Згідно з пізнішими даними, тільки в Україні до 2012 р. було прооперовано понад 7 тис. хворих на РЩЗ у віці 0–18 років. Серед них 74,1 % пацієнтів на момент аварії були у віковій групі 0–14 років. Спільними дослідженнями Інституту ендокринології та обміну речовин НАМН України та Національного інституту раку США встановлено причинний зв'язок між поглиненою дозою та збільшенням захворюваності на рак РЩЗ в опромінених у дитячому та підлітковому віці.

Радіаційні ризики РЩЗ у дорослих поки що є предметом дискусії. Підвищену захворюваність на нього в Україні

було зареєстровано в учасників ЛНА та евакуйованих із 30-кілометрової зони. Проводяться пілотні аналітичні дослідження. Дані спільного дослідження РЩЗ в учасників ЛНА з Білорусі, країн Балтії та Російської Федерації показали зростання радіаційних ризиків після комбінованого впливу інкорпорованих радіоіотопів йоду та зовнішнього опромінення на тлі внутрішньої гетерогенності когорти. Натомість, у Російській Федерації надлишкової частоти РЩЗ не визначено. Радіаційні ризики для цих факторів мають бути вивчені в майбутньому.

У зв'язку з безпрецедентним збільшенням кількості випадків РЩЗ у трьох постраждалих країнах було налагоджено ефективну систему ранньої діагностики, лікування та реабілітації, що мало наслідком вражаючий успіх лікування. Однак, незважаючи на ефективність ранніх результатів лікування, його довгострокові результати потребують подальшого вивчення, оскільки якість життя у післяопераційному періоді, як і раніше зменшується, хворим необхідна довгострокова підтримка. Унікальний досвід лікування та реабіліта-

ції хворих на РЩЗ може бути використаний у разі інших радіаційних аварій.

Останніми роками підвищений ризик радіаційно-індукованої лейкемії серед чорнобильських ліквідаторів було встановлено у ряді міжнародних досліджень. Визначені рівні ризику були аналогічними тим, які раніше реєструвалися після атомного бомбардування в Японії. Найбільшим у світі за розмірами когорти (більше 110 тис. учасників ЛНА), колективною дозою та кількістю випадків лейкемії стало аналітичне дослідження, що здійснювалося в рамках міжнародної угоди між Україною та США в галузі вивчення ефектів Чорнобильської аварії (1999) та охопило період від 1986 до 2006 р. Уперше всі випадки було піддано експертизі міжнародною групою експертів, а для реконструкції доз застосовано новий метод дозиметрії RADRUE, створений спільно вченими Міжнародної агенції з дослідження раку ООН, Національного інституту раку США, Колумбійського університету, Федерального медичного біофізичного центру імені А. Бурназяна (в минулому — Інститут біофізики) РФ та ННЦРМ НАМН України (рис. 1).

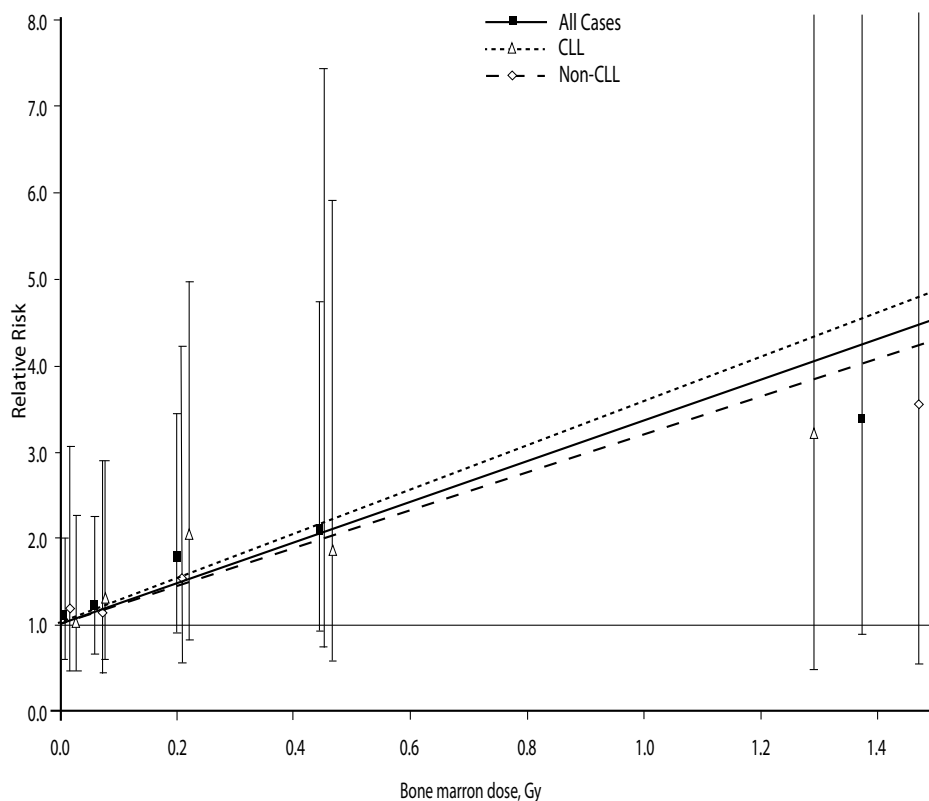


Рис. 1. Радіаційні ризики лейкемії в учасників ЛНА за результатами спільного дослідження Національного інституту раку США та ННЦРМ НАМН України [15]

Світовим пріоритетом стало визначення радіаційних ризиків хронічної лімфоцитарної лейкемії [15]. Подальшому розвитку досліджень у цьому напрямку сприяло б створення об'єднаної когорти.

Водночас радіаційним ризикам в опромінених у дитячому віці було присвячено тільки дескриптивні дослідження. Деяко контрверсійними стали результати досліджень Міжнародного консорціуму, а зростання захворюваності на лейкемію в опромінених *in utero* потребує ретельної перевірки.

Захворюваність на деякі види солідних раків в останні роки збільшилася серед учасників ЛНА та певних груп постраждалих. Показано радіаційні ризики раку молочної залози серед жінок-ліквідаторів 1986—1987 рр., а також серед жінок, що проживають у найбільш забруднених районах Білорусі та України. Тривалість латентного періоду залежить від типу раку й дози опромінення. Таким чином, радіаційні ризики солідних раків у таких групах, як ліквідатори та евакуйовані, повинні бути додатково вивчені і оцінені. У постраждалого населення радіаційно забруднених територій (РЗБ), за виключенням зростання частоти РЩЗ, ексцесу радіогенних раків відносно національних показників досі не виявлено.

Результати цитогенетичних досліджень постраждалого населення України, Білорусі та Росії вказують на збереження підвищеної частоти соматичних мутацій у лімфоцитах периферичної крові, а також збільшення їх у дітей, народжених від опромінених батьків. Крім мінісателітних досліджень, збільшилося число доказів ролі геномної нестабільності, послаблення імунітету та інших

немішених ефектів, але масштаб цих досліджень є недостатнім.

Існує ряд доказів збільшення серед учасників ЛНА показника смертності від серцево-судинних захворювань, але зв'язок із дозою опромінення повинен бути предметом подальшого дослідження так само, як і роль інших факторів ризику, а саме – способу життя, зокрема паління.

Міжнародні дослідження свідчать про наявність у населення, постраждалого від аварії на Чорнобильській АЕС, довгострокових психічних розладів, зокрема депресії, тривожності та посттравматичних стресових розладів. Ці ефекти було зареєстровано в дескриптивних міжнародних програмах «АЙФІКА» та Франко-німецької ініціативи «Чорнобиль», однак зв'язку з дозою опромінення визначено не було. Зараз проводиться міжнародне дослідження порушень когнітивної функції та їх молекулярного підґрунтя в учасників ЛНА, опромінених у дозах до 500 мЗв, та у опромінених внутрішньотрубно.

Дані державної статистики за 26 років показують безперервне погіршення стану здоров'я різних груп постраждалих: учасників ЛНА, евакуйованих із зони відчуження та населення забруднених територій (рис. 2) [1]. Доказові дані останніх п'яти років в Україні свідчать на користь збільшення ризиків неонкологічних захворювань, включаючи аутоімунний тиреоїдит в учасників ЛНА з дозами зовнішнього опромінення понад 250 мГр та дорослих із дозами на ЩЗ понад 300 мГр. Ці свідчення потребують подальшого епідеміологічного аналізу.

Демографічна ситуація в зонах радіоактивного забруднення значно відрізня-

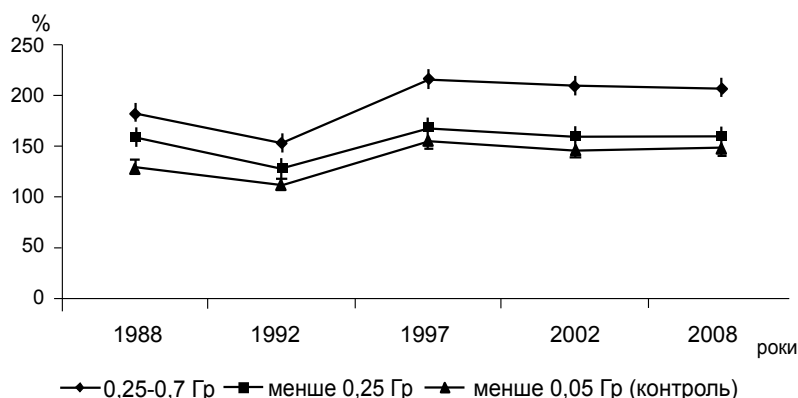


Рис. 2. Динаміка рівня непухлинної захворюваності в учасників ЛНА на ЧАЕС 1986–1987 рр. у когорті в цілому залежно від дози зовнішнього опромінення всього тіла [16]

ється від решти країни. Негативними факторами стали переселення, зміни чисельності працездатного населення, обмеження виробничої та інвестиційної діяльності, формування в громадян комплексу «жертви». Зазначимо, що дитяча смертність після катастрофи зберігається на низькому рівні і має тенденцію до зниження протягом останніх років, це є певним свідченням ефективності роботи локальної медичної мережі навіть за існуючих умов.

Наступні роки будуть ключовими для збереження життя постраждалих. Викликами часу є:

- зростання показника передчасної смертності ліквідаторів від непухлинних захворювань, у першу чергу серцево-судинних: ішемічної хвороби серця та цереброваскулярних патологій;
- збільшення в ліквідаторів частоти онкологічних захворювань, насамперед РЩЗ, сечовидільної системи, молочної залози та легень, із числа гематологічних захворювань — множинної мієломи та мієлодиспластичного синдрому;
- підвищення захворюваності в евакуйованого населення, що зазнало дії радіоактивного йоду внутрішньотрубно, у дитячому та дорослому віці.

Чи є можливості протистояти цим викликам часу? Українська медицина увійшла в Чорнобиль непідготовленою до ліквідації ядерної катастрофи такого масштабу. Але зараз у підсумку 27 років наполегливої праці з подолання її наслідків можна констатувати:

- накопичений неабиякий досвід радіаційно-гігієнічного контролю;
- створені та працюють спеціалізовані диспансери, відділення та кабінети радіаційного захисту населення, ННЦРМ та інші профільні установи, у яких самовіддано працюють досвідчені фахівці МОЗ та НАМН України;
- працює Національна комісія радіаційного захисту при Верховній Раді України;
- функціонує (при всіх певних недоліках) Державний реєстр постраждалих унаслідок Чорнобильської катастрофи;
- понад 15 років функціонує Національний канцер-реєстр, якого, до речі, нема в багатьох країнах Європи, в тому числі Росії;

- у найкоротші терміни було розгорнуто мережі ультразвукової, імуногематологічної, цитогенетичної діагностики постраждалих. Як наслідок, смертність від РЩЗ не перевищує 1 %, що свідчить про високу ефективність діагностики та лікування. Ця система потребує підтримки і повинна функціонувати навіть в умовах обмежених фінансових ресурсів у державі.

Що робити? У країні розпочалася реформа системи охорони здоров'я. У цих умовах необхідно не руйнувати, а розвивати існуючу систему надання медичної допомоги постраждалим. Спільними зусиллями МОЗ і НАМН України, інших відомств належить забезпечити:

- сучасну діагностику та ефективне лікування захворювань, що загрожують життю постраждалих;
- модернізацію та ефективне функціонування Державного реєстру;
- радіаційний та дозиметричний контроль на територіях з аномально високими рівнями інкорпорації радіонуклідів.

### Дози та ефекти у населення в зонах спостереження об'єктів ядерного циклу

Ядерний паливний цикл складається з декількох послідовних стадій, де генерування електроенергії на АЕС є лише одним з етапів. На усіх етапах — видобування, збагачення, конверсія урану, фабрикація паливних елементів та переробка відпрацьованого палива, дослідження у галузі ядерного паливного циклу — навіть у нормальних умовах експлуатації можливе опромінення персоналу, що, відповідно, вимагає впровадження досконалої системи радіаційної безпеки.

Згідно з існуючими світовими даними, при видобутку урану на підземних шахтах середня вивільнена активність радону на одиницю виробленої електроенергії становить приблизно 75 ТБк/ГВт. У відкритих кар'єрах Австралії і Канади середня нормована активність вивільнення радону на одиницю електроенергії оцінена у 3 ТБк/ГВт. Згідно зі звітом 2000 р. [16], нормоване вивільнення радону на одиницю виробленої електроенергії для хвостосховищ працюючих та закритих шахт становить 3 і 1 ТБк/ГВт відповідно. За відсутності поверхневих хвостосховищ вивільнення радону не є суттєвим.



До радіаційно-небезпечних об'єктів на території України, що дісталися у спадок від радянської військової атомної програми, належать діючі або вже непрацюючі видобувні й переробні уранові підприємства в Дніпропетровській області — в м. Жовті Води (Державне підприємство «Східний гірничо-збагачувальний комбінат» (далі — ДП «Схід ГЗК») з двома працюючими з 1956 р. шахтами) та в м. Дніпродзержинськ — Державне підприємство «Придніпровський хімічний завод» (далі — ДП «ПХЗ»), яке в 1949–1991 рр. переробляло доменний шлак, ураномісткі концентрати та уранову руду [11]. На території ДП «ПХЗ» та прилеглих землях було створено сім хвостосховищ, два сховища відходів уранового виробництва і цех для отримання окису-закису урану з азотнокислих розчинів. Ці дев'ять відкритих для атмосферного впливу сховищ відходів уранового виробництва розміщені в глиняних кар'єрах і балках, спеціально для цього не підготовлених, і мають загальну активність  $2,7 \times 10^{15}$  Бк (середня питома активність 6,4 кБк/кг). Загальна площа земель, зайнятих цими сховищами, в яких накопичено близько 42 млн т відходів переробки уранових руд, становить 270 га. Потужність експозиційної дози на цій території знаходиться в межах від 30 до 35 000 мкР/год. Щорічно зі хвостосховищ в атмосферу потрапляє  $2,13 \times 10^{13}$  Бк радону і 23,9 т радіоактивного пилу із середньою питомою активністю 3,7 Бк/кг, із сховищ відходів уранового виробництва —  $2,3 \times 10^{13}$  Бк радону та 8,9 т радіоактивного пилу із середньою питомою активністю 2,9 мБк/кг. Хвостосховища є джерелом забруднення підземних вод на відстані 370–860 м від їх контуру. Річний винос природних радіонуклідів із наземними (р. Коноплянка, яка протікає поблизу) і

підземними водами у р. Дніпро наведено в табл. 1.

Починається розробка Новокосятинівського родовища уранових руд (Кіровоградська область), яке за розвіданими запасами є найбільшим в Європі та п'ятим у світі. Як свідчить досвід минулого, розробка нових родовищ буде пов'язана із цілою низкою поточних та потенційних проблем у галузі радіаційного захисту працюючих та населення.

Так, результати епідеміологічного та радіаційно-гігієнічного аналізу свідчать про триваюче погіршення стану радіаційної безпеки на уранових шахтах України. Ризик захворюваності на рак легень для персоналу за 20 років підвищився до  $6,44 \times 10^{-3}$ /рік. Згідно з розрахунками такому значенню ризику відповідає доза більше 100 мЗв/рік при ліміті за Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97) у 20 мЗв/рік [6]. У 35 гірників уранових шахт із раком легень, які мали підземний стаж 20 років, за результатами реконструктивних оцінок, середні значення накопичених ефективних доз на легені становили 500 мЗв, а накопичені еквівалентні дози — близько 2000 мЗв. У 37 % гірників еквівалентні дози перевищували 0,75 ліміту для категорії А, а у 17,2 % — відповідали граничним значенням або перевищували їх [12].

За рахунок хвостосховищ відходів уранового виробництва додаткова ефективна доза індивідуального опромінення населення (категорія В) варіює у межах 0,45–2,7 мЗв/рік. Дослідженнями ННЦРМ НАМН України встановлено, що частота усіх форм злоякісних новоутворень (ЗН) серед мешканців міст, розташованих поблизу вказаних об'єктів, достовірно перевищує як національний, так і регіональний рівень. Поміж окремих нозологічних форм має місце експрес раку трахеї, бронхів та легень, молочної за-

Таблиця 1

Річний винос природних радіонуклідів (Бк) у р. Дніпро з території хвостосховищ ДП «ПХЗ» загальною площею 2,7 км<sup>2</sup>

Радіоактивний елемент	Винос із наземними водами	Винос із підземними водами
Уран-238	$5,5 \times 10^{10}$	$1,6 \times 10^8$
Радій-226	$1,9 \times 10^{10}$	$2,5 \times 10^7$
Свинець-210	$4,4 \times 10^{10}$	$1,5 \times 10^6$
Полоній-210	$8,8 \times 10^9$	$1 \times 10^7$
Торій-230	$5,5 \times 10^9$	$2,5 \times 10^7$

лози, нирки та лейкемії (табл. 2). Не встановлено радіаційних ризиків РЩЗ [12].

Ці результати збігаються із світовими, основаними на когортних дослідженнях населення та персоналу, опроміненого на початкових етапах впровадження ядерних технологій, коли їх застосування випереджало використання необхідного радіаційного захисту, що мало наслідком радіаційні ефекти. В Україні проведення таких дескриптивних досліджень стало можливим завдяки створенню та функціонуванню Національного канцер-реєстру МОЗ України, бази даних якого містять персоніфіковану інформацію разом із розподілом за нозологічними формами і роками реєстрації, а також демографічними даними Державного комітету статистики України. За відсутності національних канцер-реєстрів підтверджуючі дані щодо окремих груп персоналу отримано з Фізико-енергетичного інституту (м. Обнінськ, РФ), Сибірського хімічного комбінату (м. Томськ, РФ) [5, 8]. При вивченні частоти і термінів реалізації стохастичних ефектів серед працівників ядерно-паливного циклу, які мали тривалий контакт із сполуками природного і збагаченого урану, встановлено, що захворюваність на рак органів шлунково-кишкового тракту була в 3,6–4,0 разу вище порівняно з контролем [9].

### Професійне опромінення (персонал категорії А)

Основним фактором промислової небезпеки для близько 50 тис. персоналу категорії А, які зазнають професійного опромінення в медицині, атомній промисловості, науковому секторі та індустрії, є контакт з іонізуючим випромінюванням, мірилом якого є доза опромінення людини. На оцінці доз, які отримують у

процесі виробничої діяльності працівники, базуються основні принципи радіаційного захисту — обмеження, виправданість та оптимізація, визначені у НРБУ-97.

Фактично через незадовільний стан дозиметричного контролю з трьох принципів радіаційного захисту НРБУ-97 частково виконується лише один (обмеження) і через відсутність його інструментів не можуть виконуватися два інших (виправданість та оптимізація). Принцип обмеження виконується не повною мірою через те, що сьогодні технічні та організаційні можливості наявних дозиметричних служб дозволяють контролювати лише окремі з низки критичних параметрів, а саме — дози всього тіла від жорсткого гамма-випромінювання. Водночас, дози рентгенівського та нейтронного випромінювання, а також дози на шкіру, кінцівки та кришталик ока (усі нормуються і мають визначатися згідно з НРБУ-97) не контролюються. Це стосується й додаткових лімітів доз, зокрема, для жінок віком до 45 років. Відсутність центрального (національного) дозиметричного реєстру в умовах мобільності робочої сили не дає змогу здійснювати наскрізний контроль виконання основного дозового ліміту (100 мЗв за 5 років поспіль).

Відсутність адекватного дозиметричного контролю та систематичного обліку індивідуальних доз працюючих унеможливорює моніторинг та поліпшення безпеки праці та виробничого середовища, а також підвищення культури безпеки й оптимізацію технологій. Слід підкреслити, що відсутність інформації про ті чи інші види доз (на шкіру, кришталик ока, нейтронне випромінювання, дози на жіночі дітородні органи) не тільки не означає, що шкідливий вплив цих чинників відсутній, але й приховує

Таблиця 2

**Захворюваність на злоякісні новоутворення населення міст Дніпродзержинськ та Жовті Води за 2003–2008 рр. по відношенню до національних показників (стандартизовані співвідношення захворюваності — SIR, %)**

Форма ЗН та шифр за МКХ-10	Об'єднані показники по містах Дніпродзержинськ та Жовті Води			
	Фактичне число ЗН	Очікуване число ЗН	SIR, %	95 % ДІ
Всі форми ЗН (C00–C97)	7353	6568,8	111,9	109,4–114,5
ЗН трахеї, бронхів, легень (C33, C34)	931	741,1	125,6	117,6–133,7
ЗН молочної залози (C50)	770	671,8	114,6	106,5–122,7
ЗН нирок (C64, C65)	246	198,9	123,7	108,2–139,1
Лейкемія (C91–C95)	214	147,6	145,0	125,6–164,4

справжню картину опромінення персоналу категорії А.

У той же час в Україні існують передумови для створення єдиного медико-дозиметричного реєстру та окремі елементи, які можуть бути для цього використані. Індивідуальні дані накопичуються у дозиметричних підрозділах об'єктів ядерної енергетики, в базі даних лабораторії радіаційної гігієни медичного персоналу Інституту медичної радіології імені С. П. Григор'єва НАМН України, інших.

Національна система реєстрації раку включає локальні та централізований реєстри з ідентифікаційними та клініко-патологічними даними достатньої якості, але відсутніми даними щодо доз професійного опромінення. Прикладами регіональних є реєстр, який підтримується Інститутом медичної радіології імені С. П. Григор'єва, та реєстр ННЦРМ для персоналу об'єкта «Укриття», який містить поглиблені клінічні та дозиметричні дані, включаючи дози від інкорпорації трансуранових елементів [14]. Агрегована інформація доступна МОЗ України та НАЕК «Енергоатом» із локальних статистичних звітів. Аналіз, що проведено МОЗ України у 2002 та 2004 рр., дозволив оцінити загальний стан дозиметричного моніторингу та приблизно визначити загальну чисельність персоналу, що потребує індивідуального дозиметричного контролю.

НАМН України тісно співпрацює з Державною інспекцією ядерного регулювання в напрямку розбудови Єдиної державної системи контролю та обліку індивідуальних доз, створення якої вимагають Закон України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання», низка постанов Уряду та Указ Президента України від 16.12.2009 р. На жаль, усі ці зусилля поки що не дали практичного результату, зокрема, через те, що проблема дозиметричного контролю професійного опромінення традиційно не потрапляє в центр уваги Кабінету Міністрів та Верховної Ради України. Окрім стратегічного завдання створення сучасної системи контролю та обліку індивідуальних доз, яка дозволить радикально поліпшити стан радіаційної безпеки в Україні та приведе ситуацію із професійним опроміненням персоналу категорії А у відповідність до вимог зако-

нодавства України, норм Європейського Союзу та МАГАТЕ, існують й невідкладні локальні завдання. Серед них — проведення інтеркалібрування (сліпого міжлабораторного тесту) усіх без винятку лабораторій індивідуального дозиметричного контролю, пілотний проект з опрацювання в масштабах однієї з областей (Одеській) основних засад функціонування Єдиної системи та верифікації доз опромінення персоналу. Ці цілком конкретні заходи можуть дати миттєвий ефект та стати поштовхом подальшого впровадження сучасних підходів до контролю доз професійного опромінення.

Через бурхливий розвиток нових радіаційних технологій в медицині виникають нові ризики та шляхи опромінення. Використання прискорювачів для терапії та генерації радіоізотопів (ПЕТ) призводить до виникнення нейтронного випромінювання, раніше не притаманного медичній галузі, широке використання радіофармпрепаратів ставить на порядок денний контроль опромінення кінцівок, дедалі більше розповсюдження радіохірургічних технологій (інтервенційна радіологія) висуває нові виклики, зокрема, контроль доз та захист очей хірургів, оцінки ефективної дози та еквівалентних доз на органи, що отримують значні дози опромінення. Останніми місяцями відзначається лавиноподібне зростання числа публікацій про онкологічні та неонкологічні захворювання в інтервенційних радіологів, ймовірно, пов'язаних з їхнім професійним опроміненням, — проблема, яка потребує вивчення та осмислення.

До потенційно небезпечних підприємств відносять атомні електростанції. Проведеними описовими дослідженнями персоналу АЕС під час нормальної експлуатації не виявлено ексцесів радіаційно-індукованих захворювань. Разом із тим, як показують дослідження ННЦРМ, існує значна частка персоналу з транзиторними захворюваннями, які тимчасово обмежують працездатність персоналу категорії А та потребують поглибленого обстеження та лікування. Аналіз даних за 2003–2008 рр. у містах розташування АЕС (Південноукраїнськ, Енергодар, Нетішин) не визначив підвищення частоти онкологічних захворювань, за винятком раку нирок.



## Опромінення в гірничій та металургійній промисловості

Опромінення працівників нерадіаційних виробництв традиційно для України не вважається таким, що несе ризики, пов'язані із дією іонізуючого випромінювання. Натомість, НКДАР ООН [18] визнав вплив радіоактивних матеріалів, що звільняються при видобуванні корисних копалин, на людину. Для оцінки рівня вивільнення радону було використано два підходи. Перший був заснований на припущенні, що 20 % радону, який міститься в руді, звільняється в процесі видобутку, а рівень вивільнення радону при переробці руди є в 2 рази вищим, ніж при видобутку корисних копалин. Альтернативний підхід був заснований на масштабуванні вивільнення радону від уранових рудників з урахуванням середнього коефіцієнта в 1000 між активністю  $^{226}\text{Ra}$  на одиницю маси уранової руди та вугілля. За цими підходами було оцінено нормовану колективну ефективну еквівалентну дозу в  $6 \times 10^{-4}$  та  $1 \times 10^{-2}$  людино-Зв/ГВт і активність радону від 30 до 800 ТБк відповідно.

Концентрації активності радіонуклідів природного походження в леткій золі на порядок вище, ніж у вугіллі, перш за все за рахунок згорання органічної складової вугілля. Існує також, очевидно, збагачення  $^{210}\text{Po}$  і  $^{210}\text{Pb}$  у мікродисперсних частинках, які менш ефективно затримуються електрофільтрами та скруберами. У звіті 1988 р. розглянуто два типи вугільних електростанцій — з відносно простими заходами з обмеження викидів (близько 10 % від загальної кількості золи) та з більш досконалими заходами очистки (викид 1 % золи). Застосовано фактори збагачення при фільтрації: 3 для  $^{210}\text{Po}$  та 1 — для  $^{210}\text{Pb}$ , для ізотопів радію, урану і торію. Викиди  $^{222}\text{Rn}$  і  $^{220}\text{Rn}$  розглядалися окремо, оскільки ці нукліди не можуть бути зібрані пристроями уловлювання твердих частинок. Розрахункові річні дози від інгаляції становили 1 мкЗв та 20 мкЗв, для сучасних і старих підприємств, відповідно, на 1 ГВт/год виробленої електроенергії. Було відзначено, що вимірювання в навколишньому середовищі навколо вугільних електростанцій не показали істотного збільшення концентрації активності, а дози від продуктів харчування, швидше за все, є низькими.

В Україні об'ємна активність  $^{222}\text{Rn}$  у повітрі житлових багатоповерхових будинків у м. Кривий Ріг варіює від 32 до 173 Бк/м<sup>3</sup>, а в одноповерхових — від 26 до 1448 Бк/м<sup>3</sup>. ППД гамма-випромінювання міститься в повітрі будинків на рівні 0,09–0,20 мкЗв/год, що не перевищує регламентованих значень [4]. Для вугільних шахт Донбасу особливого значення набуває інгаляційне надходження до організму людини природних радіонуклідів  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Th}$  та  $^{40}\text{K}$ . Концентрації природних радіоактивних елементів у шахтних пробах близькі до кларкових для осадових порід [14].

## Медичне опромінення пацієнтів

Діагностика методами медичного, стоматологічного рентгенівського обстеження та ядерної медицини викликає опромінення з ефективною дозою 0,64 мЗв на душу населення. У світі на медичне опромінення припадає близько 20 % від середньої річної дози, або приблизно 4,0 млн людино-Зв. Щороку проводиться 3,1 млрд діагностичних досліджень та 0,46 млрд стоматологічних радіологічних обстежень.

Медичне опромінення за рахунок діагностичної, інтервенційної радіології та ядерної медицини в розвинутих країнах стало найбільшим із штучних джерел радіаційного опромінення, нараховуючи в середньому ефективну дозу 3,0 мЗв/рік на душу населення, що є співставним за радіологічним ризиком із 150 рентгенографіями грудної клітки та в 3 рази перевищує ліміти доз безпечного проживання на РЗТ. Застосування методів візуалізації за допомогою іонізуючої радіації призводить до значних ефективних доз та доз на окремі органи у пацієнтів. В Україні за даними МОЗ (2010) проводиться щорічно більше 16 млн рентгенологічних досліджень, радіаційну терапію отримують понад 92 тис. хворих. Відкриваються нові центри комп'ютерної томографії та інтервенційної кардіології. Дозові навантаження пацієнтів та медичного персоналу, а також якість дозиметрії при застосуванні цих процедур повинні ретельно контролюватися.

Інтервенційна кардіологія, надаючи пацієнту життєво важливу допомогу, призводить до значного опромінення органів, розташованих поряд із серцем. У нещодавньому французькому дослі-

дженні 2095 хворих доза на легені при коронарній ангіографії становила 34 мГр у чоловіків та 22 мГр у жінок; на кістковий мозок — 8 мГр та 4 мГр відповідно. При черезшкірній коронарній ангіопластиці дози були вдвічі вищими. Додатковий радіаційний ризик фатальних раків для пацієнтів, вперше опромінених у віці старше 60 років, становив від 0,4 до 4,0 %. Негативні наслідки професійного опромінення повинні стати об'єктом наукового узагальнення на основі підходів, що базуються на останніх міжнародних даних про радіаційні ризики виникнення онкологічних та непухлинних захворювань.

### Висновки

Проведений аналіз свідчить про те, що в Україні існує комплекс проблем, породжених аварійним опроміненням унаслідок Чорнобильської катастрофи, опроміненням при щоденній виробничій практиці та використанні радіаційних лікувальних та діагностичних технологій у медицині. Першочерговим завданням є підвищення культури безпеки, впрова-

дження та неухильне дотримання правил радіаційної безпеки, забезпечення захищеності жителів країни від можливого несприятливого впливу на їхнє здоров'я джерел іонізуючих випромінювань. Ця захищеність визначається наявністю необхідних законів, нормативних та інструктивно-методичних документів, які повинні вчасно переглядатися та вдосконалюватися, та дієвим контролем їх неухильного виконання. Далеко не вичерпаним є потенціал наукових досліджень, які можуть здійснюватися на унікальному чорнобильському матеріалі та силами вітчизняних учених, що вже набули міжнародного авторитету та визнання.

Зусилля та видатки на впровадження заходів радіаційної безпеки та дозиметричного контролю не повинні застосовуватися за залишковим принципом, оскільки вони обіцяють неабиякий соціально-економічний ефект, що, зокрема, вимірюється кількістю збережених життів та величиною заощаджених коштів на лікування хворих, ліквідацію негативних наслідків недотримання норм і правил радіаційної безпеки.

## Список літератури

1. 25 років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього [Текст]: Національна доповідь України. — К. : КІМ, 2011. — 355 с.
2. Дози опромінення та клінічні особливості професійних раків у гірників уранових шахт [Текст] / Л. О. Гайсенюк, Г. В. Кулініч, Л. Л. Стадник [та ін.] // Український радіологічний журнал. — 2010. — Т. 18. — С. 426–431.
3. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс]: [схвалена КМ України від 15.03.2006; із змінами і доповненнями, внесеними розпорядженням Міністерства палива та енергетики України від 26 березня 2008 року]. — Режим доступу: <http://energetyka.com.ua/normatyvna-baza/384-energetichna-strategiya-ukrajini-na-period-do-2030-roku>
4. Іщенко Л. О. Радіаційно-гігієнічне обстеження житлових приміщень Криворізького залізничного басейну [Текст] / Л. О. Іщенко // Довкілля та здоров'я. — 2008. — Т. 45, № 2. — С. 256–260.
5. Клинико-эпидемиологическая характеристика опухолевых заболеваний пищеварительной системы в отдаленный период токсико-радиационной травмы [Текст] / Л. А. Шлагина, Л. А. Паначева, Н. В. Людина [та ін.] // РЖГГК. — 2003. — № 6. — С. 60–64.
6. Ковалевский Л. И. Состояние радиационной безопасности на урановых шахтах Украины [Текст] / Л. И. Ковалевский, А. П. Оперчук, И. П. Лось // Довкілля та здоров'я. — 2008. — Т. 5, № 2. — С. 4–8.
7. Ластков Д. О. Гігієнічна оцінка пилорадіаційного фактора у вугільних шахтах: доповідь 2: Виробниче дослідження [Текст] / Д. О. Ластков, О. В. Партас // Вестник гигиены и эпидемиологии. — 2001. — Т. 5, № 1. — С. 34–37.
8. Основные показатели здоровья населения г. Озерска в период 1948 — 2002 гг. [Текст] / Н. А. Кошурникова, Ф. Д. Третьякова, П. В. Окатенко [и др.] // Бюллетень сибирской медицины. — 2005. — № 2. — С. 29–35.
9. Оценка заболеваемости гемобластозами у персонала радиационно-опасных производств (на примере Сибирского химического предприятия) [Текст] / А. Б. Карпов, Р. М. Тахауов, Н. В. Королева [и др.] // Сибирский онкологический журнал. — 2007. — № 1 (21). — С. 37–43.
10. Павленко Т. А. Существующие дозы облучения населения Украины [Текст] / Т. А. Павленко, И. П. Лось // Ядерна та радіаційна безпека. — 2009. — № 1. — С. 18–22.
11. Про результати здійснених Рахунковою палатою аудитів ефективності використання коштів державного бюджету, спрямованих на забезпечення екологічної безпеки та захисту населення від шкідливого впливу іонізуючого випромінювання [Електронний ресурс] : бюлетень Рахункової палати України. — Режим доступу: <http://www.ac-rada.gov.ua/control/main/uk/publish/article/1492984>.
12. Cancer incidence and nuclear facilities in Ukraine: A community-based study [Text] / D. A. Bazyka, A. Ye. Prysazhnyuk, A. Ye. Romanenko [et al.] // Exp. oncology. — 2012. — Vol. 34, № 2. — P. 116–120.
13. Health effects of the Chornobyl Accident — a Quarter of Century Aftermath [Text] / eds.: A. Serdiuk, V. Bebesko, D. Bazyka S. Yamashita. — Kyiv: DIA, 2011. — 658 p.
14. Problems of the radiation protection and health effects monitoring in Ukrainian radiation workers: abstracts [Text] / V. Bebesko, D. Bazyka, I. Likhtarev [et al.] // Third European IRPA Congress, 14–18 June 2010. — Helsinki, Finland: Nordic Society for radiation Protection, 2010. — P. 149.
15. Radiation and the Risk of Chronic Lymphocytic and Other Leukemias among Chornobyl Cleanup Workers [Text] / L. Zablotska, D. Bazyka, J. H. Lubin [et al.] // Environm. Health Persp. - 2012. — Vol. 120, № 11.
16. United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation [Text]: report to the General Assembly, with scientific annexes: [in 2 vol.] / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. — 2000. — (Volume I: Sources) (Volume II: Effects). — New York: United Nations, 2000. — United Nations sales publications (E.00.IX.3) (E.00.IX.4).
17. United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation [Text]: report: [in 2 vol.] / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. — UNSCEAR. — 2008. — (Volume I: Sources) (Volume II: Effects). — New York: United Nations, 2008. — United Nations sales publications (E.10.XI.3. — 2010) (E.11.IX.3. — 2011).
18. United Nations. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation [Text]: report to the General Assembly, with annexes / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. — 1988. — New York: United Nations, 1988. — United Nations sales publications (E.88.IX.7)

## Резюме

**Проблеми радіаційної медицини та безпеки України в ХХІ столітті: історичне минуле та сучасні завдання**

*А. М. Сердюк, Д. А. Базика,  
І. П. Лось, А. Є. Присяжнюк,  
В. В. Чумак*

У статті висвітлено найактуальніші проблеми та виклики, що стоять перед радіаційною медициною та гігієною в Україні сьогодні або поставатимуть у найближчій перспективі. Розглянуто надбання та першочергові завдання в галузі дослідження впливу та пом'якшення наслідків радіаційних аварій або радіаційно-небезпечних об'єктів, що дісталися незалежній Україні у спадок від колишнього СРСР (Чорнобильська катастрофа, хвостосховища уранових підприємств тощо), дано прогноз впливу цих джерел на довкілля та людину. Особливу увагу приділено професійному опроміненню за рахунок природних джерел іонізуючого випромінювання та тенденції до збільшення опромінення пацієнтів. Визначено недоліки у галузі контролю та обмеження професійного опромінення (персонал категорії А), зокрема, окреслено нові виклики, обумовлені розвитком радіаційних технологій в медицині, запропоновано кроки до радикального покращення ситуації.

**Ключові слова:** радіаційна медицина, радіаційна гігієна, Чорнобильська катастрофа, іонізуюче випромінювання, дози, ефекти.

**Problems of Radiation Medicine and Safety of Ukraine in 21<sup>st</sup> Century: Historical Past and Contemporary Tasks**

*A. M. Serdiuk, D. A. Bazyka,  
I. P. Los, A. Ye. Prysiashniuk,  
V. V. Chumak*

Actual problems facing radiation medicine and hygiene and challenges of the near future are discussed, the efforts in minimization the consequences of radiation accidents including the Chernobyl catastrophe or radioactive waste storages of the uranium processing facilities inherited from the times of the USSR. In Ukraine the performed analysis demonstrates the existence of the complex of problems generated by the accidental and daily professional exposure, irradiation related to diagnostic procedures and treatment of patients. Population exposure is discussed including category A personnel and challenges related to new radiation technologies. Among first line priorities are implementation of the radiation safety culture and population protection from the possible negative health effects from the radiation sources that have to be based on the up-to-date legislation and instructive documents, and appropriate scientific research and governmental control.

**Key words:** radiation medicine, radiation hygiene, Chernobyl accident, ionizing radiation, doses, effects.

## Summary

**Проблемы радиационной медицины и безопасности Украины в ХХІ веке: историческое прошлое и современные задачи**

*А. М. Сердюк, Д. А. Базика,  
И. П. Лось, А. Е. Присяжнюк,  
В. В. Чумак*

В статье освещены наиболее актуальные проблемы и вызовы, которые стоят перед радиационной медициной и гигиеной в Украине сегодня или встанут в ближайшей перспективе. Рассмотрены достижения и актуальные задачи в области изучения влияния и смягчения последствий радиационных аварий или радиационно-опасных объектов, которые достались в наследство независимой Украине от бывшего СССР (Чернобыльская катастрофа, хвостохранилища урановых предприятий и т. д.), дан прогноз влияния этих источников на окружающую среду и человека. Особое внимание уделено профессиональному облучению за счет природных источников ионизирующего излучения и тенденции увеличения облучения пациентов. Определены недостатки в области контроля и ограничения профессионального облучения (персонал категории А), в частности, обрисованы новые вызовы, обусловленные развитием радиационных технологий в медицине, предложены шаги к радикальному улучшению ситуации.

**Ключевые слова:** радиационная медицина, радиационная гигиена, Чернобыльская катастрофа, ионизирующее излучение, дозы, эффекты.