

РОМАНЧУК Л.Д., д-р с.-г. наук

Житомирський національний агроекологічний університет

E-mail: LRomanchuck@rambler.ru

## ЕКВІВАЛЕНТНІ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ ЩИТОПОДІБНОЇ ЗАЛОЗИ $^{131}\text{I}$ ЧЕРЕЗ ВМІСТ $^{129}\text{I}$ В ГРУНТАХ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

Представлені результати досліджень та розрахунки ретроспективної дозиметрії опромінення щитоподібної залози  $^{131}\text{I}$  через концентрацію  $^{129}\text{I}$  в ґрунтах Північної частини Житомирщини.

**Ключові слова:**  $^{127}\text{I}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ .

**Постановка проблеми.** Довгоживучий радіонуклід  $^{129}\text{I}$  ( $T_{1/2} = 15,7$  Ма,  $E_{\beta \max} = 0,2$  МеВ,  $E_{\gamma} = 39,58$  кеВ,  $I_{\gamma} = 0,0752$ ) утворюється в природі завдяки індукованому космічному випромінюванню розпаду ксенону в атмосфері та спонтанному розщепленню у геосфері. Встановлено, що загальна природна кількість  $^{129}\text{I}$  в літосфері складає 50000 кг (327 ТБк). Виявлено також, що з цієї кількості лише 263 кг (1,7 ТБк) знаходяться у вільному стані в атмосфері, гідросфері та біосфері, змішуючись зі стабільним  $^{127}\text{I}$ . Природні кількості  $^{129}\text{I}$  повсюди та постійно змінювались через викиди його в навколишнє середовище в результаті антропогенної діяльності.  $^{129}\text{I}$  антропогенного походження утворюється в першу чергу як результат розщеплення  $^{235}\text{U}$  та  $^{239}\text{Pu}$  з ізобаричними потужностями розщеплення, індукованого термальними нейтронами 0,68 % і 1,6 % відповідно. Йод утворюється при термальному розщепленні  $^{235}\text{U}$  з ізотопними співвідношеннями  $^{131}\text{I}/^{129}\text{I} = 3,82$  та  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ , що = 6,06 [1,4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Було підраховано, що кількість  $^{129}\text{I}$ , який потрапив у навколишнє середовище в результаті вибухів ядерної зброї, коливається між 43 кг (0,28 ТБк) та 150 кг (0,98 ТБк). А. Шмідт та ін. в 1998 р. встановили, що в результаті Чорнобильської аварії у навколишнє середовище потрапило менше 2 кг (0,013 ТБк)  $^{129}\text{I}$ . Більша кількість  $^{129}\text{I}$  антропогенного походження в довкіллі пояснюється викидами переробних заводів [2, 4]. Наприклад, близько 3500 кг (23 ТБк)  $^{129}\text{I}$  було випущено у навколишнє середовище переробними заводами Європи до 2000 р., 70 % з цієї кількості припадає на переробний завод в Гаазі [3, 6]. Із всієї кількості  $^{129}\text{I}$ , що потрапив у навколишнє середовище з Гаазького заводу, 97 % припадає на рідкі викиди, для порівняння: на Селлафільдському заводі рідких викидів було 85%. Велика кількість антропогенного  $^{129}\text{I}$  все ще знаходиться у від-працьованому ядерному паливі. Як підраховано в 1990 р. його було 5660 кг (37 ТБк) [3, 5]. Відомі факти викидів у навколишнє середовище на американських військових переробних заводах, практично не існує жодних публікацій про аналогічні заводи в колишньому СРСР та інших східних країнах.

Аналіз  $^{129}\text{I}$  в зразках з навколишнього середовища, зокрема в ґрунтах, дає можливість провести ретроспективну дозиметрію опромінення, викликаного короткоживучими ізотопами йоду, такими як  $^{131}\text{I}$ , через довгий час після того, як радіонукліди були викинуті в навколишнє середовище в результаті різного роду аварій. Існує декілька вимог щодо того, як можна провести ретроспективну дозиметрію  $^{129}\text{I}$ , який потрапив в навколишнє середовище в результаті аварії не повинен був зникнути з аналізованих ґрунтових горизонтів через міграцію в більш глибокі шари ґрунту, і його слід відрізнити від радіоактивних опадів, які потенційно мали місце до аварії [4,7].

**Метою** досліджень було вивчити поведінку в навколишньому середовищі різних радіонуклідів, які потрапили туди в результаті Чорнобильської аварії, а також дослідити рівень радіаційного опромінення мешканців сильно забруднених районів в Північній Україні і можливість використання  $^{129}\text{I}$  як індикатора для визначення рівня випадіння  $^{131}\text{I}$  після Чорнобильської аварії.

**Методика досліджень.** Для дослідження концентрації  $^{129}\text{I}$  в 2008 р. були відібрані та досліджені ґрунти із різних горизонтів Північної України. Ділянки, де проводився відбір зразків, охоплюють райони, які постраждали від випадіння радіоактивних речовин під час Чорнобильської аварії – це сильно забруднені території Народицького та Коростенського районів. Ділянки де проводили відбори проб в Коростенському районі зі щільністю випадіння

$^{137}\text{Cs}$  між 185-555 кБк/м<sup>2</sup> (5-15 Кі/км<sup>2</sup>); ділянки у Народницькому районі з щільністю випадіння  $^{137}\text{Cs}$  між 555-1480 кБк/м<sup>2</sup> (> 15 Кі/км<sup>2</sup>).

Зразки ґрунту відбирали на ділянках площею 1×1 м методом «конверту» відповідно до загальноприйнятої методики. На кожній ділянці було безсистемно відібрано до 7 зразків ґрунту, взятих з території площею в 4 км<sup>2</sup>.

Для того щоб взяти ґрунтові профілі, вибирали ґрунтово-перегнійні кубики розміром 20 × 20 см. Зразки відбирали на глибину 45 см з поверхневою площею 1 × 1 м, залишивши ґрунтові колонки розміром 20 × 20 по кутках. Ці колонки поділили на секції з інтервалом в 1 см у верхньому 5 см шарі, потім розбили на 5 см сегменти на глибину до 25 см, а кінцева секція – до глибини 40 см.

Активність  $^{129}\text{I}$  в ґрунтах визначали за допомогою радіохімічного аналізу нейтронної активації та іонної хроматографії в центрі радіаційного захисту та радіоекології Ганноверського університету (Німеччини). Загальні значення повних аналізів  $^{129}\text{I}$  були встановлені за допомогою йоду Вудварда, який використовувався як уловлювач мікроелементів.

Дослідження проводили на базі науково-дослідного інституту регіональних екологічних проблем Житомирського національного агроєкологічного університету та центру радіаційного захисту та радіоекології Ганноверського університету (Німеччина).

**Результати досліджень та їх обговорення.** Радіоекологічне моделювання для виявлення зв'язку між щільністю випадання  $^{131}\text{I}$ , яка прораховується по щільності випадання  $^{129}\text{I}$ , та дозою, яку отримує щитоподібна залоза, повинне бути абсолютно надійним.

Математична модель для ретроспективної дозиметрії опромінення  $^{131}\text{I}$  через дані по  $^{129}\text{I}$  представлена наступним рівнянням:

$$\dot{I}_{\text{щитопод.}} = (D(^{129}\text{I}) - D_{\text{дочорноб.}}(^{129}\text{I})) \frac{A_{131}}{A_{129}} DC_{131} f(t), \quad (1)$$

де  $N_{\text{щитопод.}}$  – це очікувана еквівалентна доза щитоподібної залози через вплив  $^{131}\text{I}$  (в Зв);

$D(^{129}\text{I})$  – інтегральна щільність випадання  $^{129}\text{I}$  на досліджуваній ділянці (в Бк/м<sup>2</sup>);

$D_{\text{дочорноб.}}(^{129}\text{I})$  – інтегральна щільність випадання  $^{129}\text{I}$  в дочорнобильських опадах (в Бк/м<sup>2</sup>);

$A_{131} / A_{129}$  – співвідношення рівня радіоактивності  $^{129}\text{I}$  і  $^{131}\text{I}$  під час аварії;

$DC_{131}$  – коефіцієнт сукупної дози опромінення щитоподібної залози  $^{131}\text{I}$  за одне ядерне перетворення в процесі вивільнення радіації (Зв×Бк/м<sup>2</sup>), врахований за допомогою радіоекологічної моделі;

$f(t)$  – коефіцієнт, який пояснює розпад  $^{131}\text{I}$  в проміжку між аварією та його попаданням на місцевість, що піддається опроміненню.

В принципі,  $^{129}\text{I}$  в рівнянні міг би бути замінений іншими радіонуклідами, такими як  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$ , якби емісія та атмосферний транспорт були б гомогенними, як у випадку з випаданням радіоактивних опадів у результаті випробування ядерної зброї. У випадку з Чорнобильською аварією різні елементи були видозмінені хімічно під час вибуху та наступних емісій, вони видозмінювались і надалі залежно від атмосферного руху в тропосфері у вигляді радіоактивних шлейфів з різним складом радіонуклідів.

Для того щоб отримати більш детальні оцінки дози, підрахунки радіоактивних опадів (із врахуванням реальних кліматичних умов в квітні і травні 1986 р.) потрібно об'єднати з підрахунками з використанням радіоекологічної моделі. Такі підрахунки радіоактивних опадів були проведені Н. Талерко, а радіологічне моделювання переносу радіонуклідів із радіоактивних опадів до організму людини з врахуванням реальних екологічних умов в момент аварії, все ще до сьогодні відсутні.

В таблиці 1 ми наводимо результати досліджень опромінення щитоподібної залози, на основі коефіцієнтів загальної дози, які були отримані за формулою 1.

Таблиця 1 – Розрахункові еквівалентні дози опромінення щитоподібної залози  $^{131}\text{I}$  розраховані через вміст  $^{129}\text{I}$  в ґрунтах Північної частини Житомирщини, за формулою Pietzak-Flis et. al. (2003)

Населені пункти	E ( $D_{\text{сорт}}(^{129}\text{I})$ ) (Бк/м <sup>2</sup> )	E ( $D(^{131}\text{I})$ ) (10 <sup>6</sup> Бк/м <sup>2</sup> )	Розрахункові еквівалентні дози опромінення щитоподібної залози (Зв)		
			5-річні діти	10-річні діти	доросле населення
<i>Середньо забруднені території (3 зона) поблизу Коростеня</i>					
Неміровка	0,122	6,41	1,6	1,1	0,38
Воронево	0,124	6,5	1,6	1,1	0,38
Купеч	0,119	6,25	1,5	1,0	0,37
Чигирі	0,078	4,10	1,0	0,7	0,24
<i>Високо забруднені території (2 зона) поблизу Народич</i>					
Ноздрище	1,060	55,7	14	9,3	3,3
Нове Шарно	0,962	50,5	13	8,4	3,0
Христинівка	0,824	43,3	11	7,2	2,6

Ми не брали до уваги тимчасову поправку на час розпаду  $^{131}\text{I}$  із реактора під час Чорнобильської катастрофи та до потрапляння на території Коростенського, Народицького районів. Є офіційні докази, що радіоактивна хмара з'явилася вже 27 квітня 1986 в Народичах і, що рівень дози опромінення з навколишнього середовища швидко знизився після 28 квітня 1986 р.

Відповідно до наших розрахунків, можна припустити, що опромінення  $^{131}\text{I}$  щитоподібної залози у дітей, які проживали поблизу Народичів у 1986 р. була в межах 10 Зв, оскільки в той час не було прийнято ніяких заходів безпеки і населення не було навіть попереджено про необхідність залишатися вдома чи небезпеку вживання молока та овочів. Для дорослого населення доза опромінення щитоподібної залози становила близько 3 Зв. Що стосується дітей поблизу Коростеня, то дози опромінення були більші 1 Зв і близько 0,4 Зв у дорослих.

Всі ці показники доз опромінення узгоджуються з даними щодо опромінення щитоподібної залози, які були отримані при дослідженнях дітей віком до 7 років у Гомелі (Білорусія), а саме між 0,3 і 40 Зв. Ці дані також схожі з показниками по опроміненню щитоподібної залози у дітей з Білорусії, представлені Радою безпеки ООН, [4,5,7] і показниками характерної дози опромінення щитоподібної залози в окремих людей у північних областях України. Характерно те, що ці останні індивідуальні дози опромінення демонструють в кожній віковій групі великі відхилення (на порядок чи більше). Ці оцінювання сходяться з розглянутими відхиленнями оцінки щільності випадінь  $^{129}\text{I}$  у викиду з геометричними стандартними відхиленнями на два порядки. Ці нестандартні підходи ми використовуємо, якщо хочемо одержати точні коефіцієнти доз опромінення щитоподібної залози при проведенні ретроспективної дозиметрії  $^{131}\text{I}$  використовуючи  $^{129}\text{I}$ . Відтак, наші відомості саме оцінюють можливу величину розподілу характерних доз опромінення щитоподібної залози.

До сьогодні  $^{137}\text{Cs}$  використовується дуже часто для відтворення даних опромінення щитоподібної залози  $^{131}\text{I}$  [5,6]. Ж. Є. Крюк та ін. на основі узагальнених результатів досліджень представили нову формулу розрахунку моделі для Білорусії [2]. Вони розглянули реальні погодні і екологічні умови під час аварії і всю можливу інформацію про співвідношення у викидах  $^{131}\text{I}$  і  $^{137}\text{Cs}$ . Ми використовували їх результати коефіцієнтів сукупної дози опромінення у селах Північної України, де більше ніж 10 показників  $^{131}\text{I}$  і  $^{137}\text{Cs}$  у викиду були доступними ( $3,6 \times 10^{-6}$  Зв на Бк/м<sup>2</sup> для 5-річних дітей,  $2,3 \times 10^{-6}$  Зв на Бк/м<sup>2</sup> для 10-річних дітей і  $1,5 \times 10^{-6}$  Зв на Бк/м<sup>2</sup> для дорослих), щоб перетворити щільність випадінь  $^{137}\text{Cs}$  на дози опромінення щитової залози. Обчислені таким чином дози опромінення щитоподібної залози співпадають з нашими показниками, отриманими через  $^{129}\text{I}$  по 1 чи 2 факторах для дорослих і на 30% для 5-річних дітей. Однак залишається застереження, що це співпадіння залежить від даних про співвідношення фактичного  $^{131}\text{I}$  і  $^{137}\text{Cs}$  у викиді.

**Висновки.** Таким чином, ретроспективна оцінка опромінення щитоподібної залози  $^{131}\text{I}$  через концентрацію  $^{129}\text{I}$  у ґрунті є можливою, незважаючи на те, що неоднозначність отриманих доз опромінення є, безперечно, високою. Безсумнівно, наявні прямі показники

опромінення після аварії мають перевагу. Однак, для районів, де такі показники відсутні, ретроспективна дозиметрія через  $^{129}\text{I}$  стане цінним інструментом для визначення наслідків аварій подібних на Чорнобильській АЕС.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Використання  $^{129}\text{I}$  та  $^{137}\text{Cs}$  в ґрунтах для оцінки розподілу  $^{131}\text{I}$  в Білорусії як наслідок Чорнобильської аварії / В. Миронов, В. Кудряшов, Ф. Йоу, Г.М. Райсбек // Радиоактивность докілья. – 2002.– 59. – С. 293-307.
2. Kruk J.E., Prahл G., Kenigsberg J.I. A radioecological model for the thyroid dose reconstruction of the population of Belarus after the Chernobyl accident. In press.
3. Paul M., Fink D., Hollos G., Kaufman A., Kutschera W., Magaritz M. Measurement of  $^{129}\text{I}$  concentrations in the environment after the Chernobyl reactor accident. Nucl Instrum Methods // Phys Res. – 1987. – В. 29. – Р. 341.
4. Schmidt A.  $^{129}\text{I}$  und stabiles Jod in Umweltproben-Quahtatskontrolle von Analysenmethoden und Untersuchungen zur Radioökologie und zur retrospektiven Dosimetrie: dissertation / A. Schmidt ; University Hanover. – Germany, 1998.
5. Schnabel C., Lapez-Gutierrez J.M, Szidat S., Sprenger M., Wemli H., Beer J., et al. On the origin of  $^{129}\text{I}$  in rain water near Zurich // Radiochim Acta. – 2001. – 89.– Р. 815.
6. Schuller P. Dependence of the Cs soil-to-plant transfer factor on soil parameters Schmidt A.  $^{129}\text{I}$  und stabiles Jod in Umweltproben-Qualitätskontrolle / P. Schuller, I. Handl, R. Trumper // Health Physics. – 1988.– V. 55, № 3.– Р. 575-577.
7. Semioshkina N. Voigt The transfer of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  from feed to rabbits / N. Semioshkina, O. ProehL, A. Savinkov // Journal of environmental radioactivity.– 2007. – №8.– Р. 166-176.

#### **Эквивалентные дозы облучения щитовидной железы $^{131}\text{I}$ через концентрацию $^{129}\text{I}$ в почвах Украинского Полесья**

**Л.Д. Романчук**

Представлены результаты исследований и расчеты ретроспективной дозиметрии облучения щитовидной железы  $^{131}\text{I}$  через концентрацию  $^{129}\text{I}$  в почвах северной части Житомирщины.

**Ключевые слова:**  $^{127}\text{I}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ .

#### **The equivalent doses of the irradiation of thyroid gland with $^{131}\text{I}$ through the content of $^{129}\text{I}$ in the soils of Ukrainian Polissya**

**L. Romanchuk**

The paper presents the calculation of retrospective dozimetry of thyroid gland irradiation by  $^{131}\text{I}$  through  $^{129}\text{I}$  concentration in soils of the Northern part of Zhytomyr oblast.

**Key words:**  $^{127}\text{I}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ .