

УДК 614.876.06:621.039.58

## **ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ БІЛОРУСІ ВІД МІНОРНИХ РАДІОНУКЛІДІВ, ЯКІ ВИПАЛИ У РЕЗУЛЬТАТІ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АВАРІЇ**

**С. Лещова, Л. Чуніхін**

*Державна установа “Республіканський науково-практичний центр  
радіаційної медицини і екології людини”  
вул. Ілліча, 290, Гомель 246042, Білорусь  
e-mail: leochun\_rcrm@mail.ru*

У роботі були оцінені середні річні ефективні дози опромінення від радіонуклідів плутонію і стронцію-90 за їхнім вмістом в органах і тканинах померлих людей, які постійно проживали на території Гомельської обл. Розрахунковим шляхом оцінені ефективні дози опромінення від америцію-241. Середні по районах Гомельської обл. річні ефективні дози опромінення від стронцію-90 перебувають у діапазоні 13–21 мкЗв, а від радіонуклідів плутонію – в діапазоні від 6 до 16 мкЗв. Середня по Гомельській обл. в цілому ефективна доза від америцію-241 становила  $11 \pm 7$  мкЗв/рік і з часом може досягати значення 20 мкЗв/рік. Сумарна середня річна ефективна доза опромінення від мінорних радіонуклідів становить близько 2% дози опромінення від природних радіонуклідів.

*Ключові слова:* стронцій-90, радіонукліди плутонію, америцій-241, ефективна доза опромінення.

У результаті аварії на Чорнобильській АЕС утворилося два типи радіоактивних опадів, які відрізнялися між собою за фізико-хімічними властивостями. Перші – це так звані гарячі частинки – частинки графчатої структури паливного матеріалу або цирконію, які містять продукти поділу (радіоактивні лантаноїди і трансуранові елементи), другі – конденсована фракція, яка містить легко леткі радіонукліди (радіонукліди йоду, цезію, рутенію та ін.). Біологічно активні радіонукліди стронцію розподілені в обох фракціях радіоактивних опадів у різних кількостях залежно від відстані до аварійного блоку [2].

На початкових етапах після аварії забруднення територій визначалося опадами радіонуклідів йоду, цезію, стронцію, церію, рутенію, цирконію, ніобію, молібдену, трансурановими елементами тощо. В основному шкідлива дія радіоактивних опадів була обумовлена радіонуклідами йоду і цезію. У більш віддалений термін після аварії вся радіаційна обстановка визначалася радіонуклідами цезію-137, стронцію-90, плутонію і америцію. Відповідно до карт радіоактивного забруднення, рівень забрудненості стронцієм у 10–100 разів, а радіонуклідами плутонію у 100–1000 разів нижчий, ніж рівень забрудненості цезієм-137 [1]. Основна маса гарячих частинок випадала у межах 30-кілометрової зони, у той же час конденсовані частинки мігрували разом з атмосферними потоками на значні відстані.

Проведені раніше дослідження показали, що у ближній зоні опадів  $^{239}\text{Pu}$  і  $^{240}\text{Pu}$  містяться у грубодисперсній легкорозчинній фракції гарячої матриці. У той же час спостерігалася чітка сепарація  $^{239}\text{Pu}$  і  $^{240}\text{Pu}$  за механічними фракціями ґрунту. У віддаленій зоні опадів  $^{239}\text{Pu}$  і  $^{240}\text{Pu}$  перебували у складі дрібнодисперсної фракції, яка характеризується підвищеною розчинністю і біологічною доступністю. Аналогічна закономірність спостерігалася і для  $^{90}\text{Sr}$  [3].

Радіонукліди вилужнюються із гарячих частинок з різною швидкістю залежно від типу ґрунтів, їхньої кислотності та віддалі від аварійного блоку. Значення періодів вилужнення залежно від умов коливається від одного до кількох років [3].

Відправною точкою у вирішенні питань радіаційного захисту населення при радіаційних катастрофах, нормування і контролю вмісту радіонуклідів в об'єктах оточуючого середовища і продуктах харчування, є оцінка доз опромінення контингенту, що зазнав опромінення.

Відомо, що радіонукліди лужноземельної групи, до якої належить і  $^{90}\text{Sr}$ , потрапляють в організм із продуктами харчування й акумулюються в основному в мінералізованій міжклітинній речовині кісткової тканини.

Основними критичними органами депонування радіонуклідів плутонію, які надходять у кров'яне русло, є кісткова і ретикулоендотеліальна тканини.

Радіонукліди Pu як джерело  $\alpha$ -випромінювання (за винятком Pu-241), і Sr-90 як джерело  $\beta$ -випромінювання є найбільш небезпечними у разі їх потрапляння в організм інгаляційним чи пероральним шляхом.

Отже, радіоізотопи Pu, а також радіонукліди  $^{241}\text{Am}$  і  $^{90}\text{Sr}$  є основними джерелами опромінення клітин канцерогенного ризику – червоного кісткового мозку, поверхні кістки, ретикулоендотеліальних клітин.

Враховуючи обмеженість шляхів потрапляння в організм, їхню частку в опадах і вклад у дозу опромінення, радіоізотопи Pu, а також радіонукліди  $^{241}\text{Am}$  і  $^{90}\text{Sr}$  можна назвати мінорними радіонуклідами чорнобильського походження.

Об'єктом дослідження були зразки органів і тканин померлих жителів Гомельської обл. Відбір проб реберних кісток, печінки і легень був організований на базі судово-медичної експертизи м. Гомеля і м. Речиця, а також на базі обласних і міських моргів і проводився протягом 1990–1997 рр. Радіохімічні дослідження зразків аутопсійного матеріалу проводилися на базі Державної установи „Гомельський філіал Науково-дослідного клінічного інституту радіаційної медицини та ендокринології” (ДУ «Гомельський філіал НДКІРМ»).

*Радіохімічний метод визначення вмісту  $^{90}\text{Sr}$  у зразках кісткової тканини.*

Зразки кісткової тканини попередньо піддавали сухому і мокрому озоленню з розчиненням в азотній кислоті й подальшому осадженню Sr-90 зі стабільним носієм  $\text{Sr}_2\text{NO}_3$ .

Метод визначення  $^{90}\text{Sr}$  у золі кісткової тканини базується на переважаючій екстракції дочірнього  $^{90}\text{Y}$  моноізооктилметилфосфонову кислоту (МІОМФ) і подальшому вимірюванні отриманого препарату на низькофононих апаратах УМФ-1500М і УМФ-2000 з похибкою вимірювання 18% за вірогідності 0,95. Діапазон вимірювання: 0,25–100 Бк/кг. Вихід носія контролювали полум'яно-фотометричним методом на апараті ПАЖ-2 із літєвим світлофільтром.

*Радіометричний метод визначення вмісту радіонуклідів плутонію у зразках тканин.*

Метод радіохімічного аналізу проб аутопсійного матеріалу на вміст радіонуклідів плутонію базується на таких етапах: сухе і мокре озолення; осадження з фосфатом вісмуту; хроматографічне розділення на аніонообміннику Dowex 1×8 (100–200 mesh); електрохімічне осадження на поліровані сталеві диски; вимірювання одержаних препаратів на альфа-радіометричному апараті РІА-01В. Нижня межа визначення – 1,5 мБк/пробу.

Статистична обробка одержаних результатів здійснювалася з використанням програмних пакетів STATISTICA 6 і EXSEL.

Об'єм досліджень: усього визначень  $^{90}\text{Sr}$  було проведено у ~ 3000 зразків кісткової тканини; було одержано 501 результат визначення радіонуклідів плутонію, а саме: у кістковій тканині – 233, у легенях – 51, у печінці – 217.

*Вміст  $^{90}\text{Sr}$  і радіонуклідів плутонію в організмі людей із Гомельської обл.*

Оцінюючи вміст  $^{90}\text{Sr}$ , виходили з того, що відношення між питомою активністю радіонукліду в реберних кістках і скелетних дорівнює одиниці.

При оцінці радіонуклідів плутонію було прийнято:

- основним джерелом потрапляння радіонуклідів плутонію в організм людей є інгаляція під час проходження радіоактивної хмари (розглядається як одноразове надходження);
- швидкість надходження плутонію у складі погано розчинних аерозольних частинок із легень у шлунково-кишковий тракт (ШКТ) і швидкість виведення з нього відносно великі і суттєво не впливають на накопичення у критичних органах;
- всмоктування із ШКТ мізерне і суттєво не впливає на зміну концентрації радіонуклідів у крові.

Вміст радіонуклідів плутонію в органах розраховували за питомою активністю у відповідних зразках, беручи масу окремих органів згідно з роботою [8]. Вміст радіонуклідів плутонію в організмі оцінювали, підсумовуючи їх вміст у досліджуваних органах. Досліджуючи вміст радіонуклідів плутонію у 42-х повних комплектах органів і тканин (реберна кістка, печінка, легені), які були взяті при розтині в одних і тих самих померлих осіб, було встановлено, що радіонукліди плутонію, які надійшли у кров'яне русло у результаті резорбції, розподіляються в організмі так: кісткова тканина –  $0,58 \pm 0,111$ ; легені –  $0,09 \pm 0,039$ ; печінка  $0,33 \pm 0,103$ . Отримані експериментальні дані добре узгоджуються з даними літератури, згідно з якими основним органом депонування є скелет, де затримується 49–59% активності радіонуклідів плутонію, і печінка (31–32% активності) [4]. Використовуючи отримані співвідношення результатів аналізу вмісту радіонуклідів плутонію в окремих органах, розраховано їхній вміст в організмі в цілому. Результати представлені у табл. 2.

За результатами радіохімічного аналізу проб аутопсійного матеріалу, середній вміст  $^{90}\text{Sr}$  у кістковій тканині людей, які проживали у забруднених районах Гомельської обл., становить  $\sim 20 \pm 5$  Бк/кг, що суттєво перевищує сучасний природний рівень, обумовлений глобальними опадами (5 Бк/кг).

За даними вмісту стронцію-90 у кістковій тканині було розраховано річну ефективну дозу опромінення. Результати представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Вміст стронцію-90 в організмі та річна ефективна доза опромінення мешканців Гомельської обл.

Район	Кількість проб	Вміст $^{90}\text{Sr}$ , Бк/організм	Ефективна доза опромінення, мкЗв/рік
м. Гомель	1491	79	15
Брагінський	33	98	18
Буда–Кошелєвський	110	86	16
Ветковський	86	108	20
Гомельський	310	75	14
Добрушський	128	92	17
Корм'янський	33	69	13
Лоевський	42	100	19
Речицький	350	95	18
Хойнікський	34	111	21
Чечерський	44	70	13
Райони області в цілому	1290	$88 \pm 14$	$17 \pm 3$

При середньому вмісті стронцію-90 в організмі 88 Бк/організм річна доза опромінення від цього радіонукліду становить 17 мкЗв/рік. Найвищі дози опромінення стронцієм-90 спостерігали у Ветковському, Хойнікському, Лоевському р-нах. Максимальний вміст стронцію-90 в організмі зареєстровано у Добрушському р-ні. Тут цей показник становив 1191 Бк, що відповідає річній дозі опромінення – 22 мкЗв.

У результаті довготривалого глобального забруднення оточуючого середовища в організмі жителів Північної півкулі сформувалася рівновага концентрацій радіонуклідів плутонію в органах первинного і вторинного депонування.

За оцінками 1984 р. у легенях жителів Західної Європи міститься  $2\pm 1$ , у легеневих лімфовузлах –  $12\pm 10$ , печінці –  $24\pm 4$ , у скелеті –  $6\pm 3$  мБк/кг і в усьому тілі – 100 мБк/кг  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$  [9].

Проведені нами дослідження показали, що у 65% випадків виявлена концентрація радіонуклідів плутонію перевищувала 28 мБк/кг. Це значення дорівнює сумі середнього вмісту плутонію у печінці жителів Західної Європи і одного стандартного відхилення. Альфа-спектрометричні дослідження показали, що медіана відношення  $\text{Pu-238}/(\text{Pu-239}+\text{Pu-240})$  дорівнює 0,3. Отримані результати добре узгоджуються з оцінкою радіонуклідного складу палива 4-го енергоблоку ЧАЕС на момент аварії, що підтверджує «чорнобильське» походження радіонуклідів плутонію, виявлених у тілі жителів Гомельської обл.

Відомо, що бета-радіонуклід плутонію  $^{241}\text{Pu}$  з періодом напіврозпаду 14 років перетворюється в альфа-ізопоп –  $^{241}\text{Am}$ , який має таке ж радіаційне значення, як і радіонукліди  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ .

Згідно з роботою [5], коефіцієнт, який враховує вклад  $^{241}\text{Am}$  в ефективну дозу опромінення, можна екстраполювати виразом:

$$K = [1,7 \cdot (1,6 - e^{-0,77 \cdot t}) - 1], \quad (1)$$

де  $t$  – час після аварії, роки; 1,7, 1,6, 0,77 – емпіричні коефіцієнти.

Була здійснена оцінка середніх річних ефективних доз опромінення від радіонуклідів плутонію за фактичним вмістом в організмі, а від америцію – шляхом розрахунку. Результати представлені у табл. 2.

Таблиця 2

Вміст радіонуклідів плутонію в організмі та річна ефективна доза опромінення мешканців Гомельської обл. від трансуранових елементів

Район	Кількість проб	Вміст радіонуклідів Pu, Бк/організм	Ефективна доза, мкЗв/рік	
			від $^{238,239,240}\text{Pu}$	від $^{241}\text{Am}$
м. Гомель	123	0,353	11	15
Брагінський	23	0,234	7	10
Буда–Кошелевський	9	0,225	7	10
Ветковський	30	0,276	8	12
Гомельський	11	0,385	12	16
Добрушський	19	0,299	9	13
Житковичський	3	0,520	16	22
Лоевський	3	0,393	12	17
Речицький	10	0,337	10	14
Рогачевський	4	0,228	7	10
Хойнікський	23	0,222	7	9
Чечерський	16	0,191	6	8
Райони області в цілому	157	0,268 $\pm$ 0,166	8 $\pm$ 5	11 $\pm$ 7

Оцінки доз від радіонуклідів плутонію і америцію збігаються з оцінками доз, отриманих працівниками сільського господарства, які мають справу з порохоутворювальними технологіями [7].

Оцінені середні по районах ефективні дози опромінення від  $^{90}\text{Sr}$  і трансуранових елементів за фактичним вмістом  $^{90}\text{Sr}$  і радіонуклідів плутонію в організмі жителів Гомельської обл.

Середня по районах Гомельської обл. ефективна доза опромінення від радіонуклідів як Pu, так і  $^{241}\text{Am}$  становила близько 10 мкЗв/рік. Середня по районах ефективна доза опромінення від  $^{90}\text{Sr}$  становила ~ 20 мкЗв/рік. Середні ефективні дози опромінення від  $^{241}\text{Am}$  по окремих районах Гомельської обл. з часом можуть досягати значення 50 мкЗв/рік.

Середні річні значення ефективних доз по районах від мінорних радіонуклідів чорнобильського походження – стронцію-90, америцію-241 і плутонію-238, 239, 240 – перебувають у діапазоні від 30 до 50 мкЗв/рік, що становить близько 2% природного радіоактивного фону, який дорівнює у середньому 2,4 мЗв/рік.

1. *Алексахин Р. М., Булдаков Л. А., Губанов В. А.* и др. Радиационные аварии. М., 2001. С. 300–311.
2. *Асмолов В. Т., Боровой А. А., Демин В. Ф.* и др. Авария на Чернобыльской АЭС: Год спустя // Атом. энергия. 1998. Т. 64. Вып. 1. С. 3–23.
3. *Кашипаров В. А.* Загрязнение территории радионуклидами топливной компоненты чернобыльских радиоактивных выпадений // Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: Тр. международ. конф. Т. 1 Пленарные доклады. Москва, 5–6 декабря 2005 г. СПб: Гидрометеиздат, 2006. С. 92–107.
4. Плутоний. Радиационная безопасность / Под общ. ред. Л.А. Ильина. М., 2005. С. 60–83.
5. Реконструкция среднegrupповых и коллективных накопленных доз облучения жителей населенных пунктов Беларуси, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Метод. указания. Минск, 2002. 13 с.
6. *Тернов В. И.* Гигиенические и медицинско-биологические аспекты загрязнения окружающей среды стронцием-90 // Здравоохранение Беларуси. 1998. № 3. С. 62–64.
7. *Чуніхін Л. А., Тагай С. А.* Оценка радиационной опасности трансурановых радионуклидов в отдаленный период чернобыльской аварии // Чернобыльские чтения –2008: Материалы междунар. науч.–практ. конф. Гомель: КИПУП «Сож», 2008. С. 329–333.
8. Age-dependent Doses of Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 4. Inhalation Dose Coefficients // A report of Task Group of Committee 2 of the ICRP / Publication № 71. 1995. 402 p.
9. *Bunzl K., Henrichs K., Kracke W.* Distribution of fallout Pu-238, Pu-239 and Pu-240 in persons of different ages from the Federal Republic of Germany // In: Assessment of Radioactive Contamination in Man/ 1984, IAEA, Vienna. P. 541–555.

Стаття: надійшла до редакції 10.12.09

доопрацьована 12.10.10

прийнята до друку 18.10.10

**EXPOSURE DOSE OF THE BELARUS POPULATION BY THE MINOR  
RADIONUCLIDES DROPPED OUT AS A RESULT OF THE CHERNOBYL ACCIDENT**

**S. Lesheva, L. Chunikhin**

*The Republican Research Center for Radiation Medicine and Human Ecology*

*290, Ilyicha St., Gomel 246042, Belarus*

*e-mail: leochun\_rcrm@mail.ru*

The effective doses from plutonium and strontium-90 and from transuranian elements have been assessed by their actual content. The exposure doses from americium-241 have been assessed by the calculation method. It has been shown that the total average annual effective dose from the minor radionuclides is about 2% of the exposure dose from natural radionuclides.

*Key words:* strontium-90, plutonium radionuclides, americium-241, effective (exposure) dose.

**ОЦЕНКА ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ БЕЛАРУСИ ОТ МИНОРНЫХ  
РАДИОНУКЛИДОВ, ВЫПАВШИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ**

**С. Лещёва, Л. Чунихин**

*Государственное учреждение “Республиканский научно-практический*

*центр радиационной медицины и экологии человека”*

*ул. Ильича, 290, Гомель 246042, Беларусь*

*e-mail: leochun\_rcrm@mail.ru*

В работе были оценены средние годовые эффективные дозы облучения от радионуклидов плутония и стронция-90 по их содержанию в органах и тканях умерших людей, постоянно проживавших на территории Гомельской обл. Расчетным путем оценены эффективные дозы облучения от америция-241. Средние по районам Гомельской обл. годовые эффективные дозы облучения от стронция-90 находятся в диапазоне 13–21 мкЗв, а от радионуклидов плутония – в диапазоне от 6 до 16 мкЗв. Средняя по Гомельской обл. в целом эффективная доза от америция-241 составила  $11 \pm 7$  мкЗв/год и со временем может достичь значения 20 мкЗв/год. Суммарная средняя годовая эффективная доза облучения от минорных радионуклидов составляет около 2% дозы облучения от природных радионуклидов.

*Ключевые слова:* стронций-90, радионуклиды плутония, америций-241, эффективная доза облучения.