

М.Д. Бондарьков
В.О. Желтоножський
К. Мюк
А.В. Чупов

НЦ «Інститут ядерних досліджень» НАН України,
м. Київ
Австрійський дослідницький центр,
м. Зайберсдорф
Міжнародне агентство з атомної енергії,
м. Відень

Дослідження чорнобильських випадань ^{137}Cs поблизу 30-кілометрової зони ЧАЕС

Investigation of Cs-137 Chernobyl fallout in regions nearby 30-km zone of Chernobyl NPP

Цель работы: Получить данные об эффективном периоде полупотерь $T_{\text{эф}}$ ^{134}Cs , ^{137}Cs по уменьшению концентрации ^{137}Cs чернобыльского происхождения.

Материалы и методы: Для исследований в Черниговской области были выбраны регионы, где вклад от глобальных выпадений ^{137}Cs составлял не более 10% от полной активности ^{134}Cs , ^{137}Cs . Соотношение чернобыльских активностей ^{134}Cs и ^{137}Cs определялось из измерений проб почвы из 30-километровой зоны ЧАЭС. Измерения проводились одновременно с отбором проб молока.

Для измерений активности ^{137}Cs отбирались молочные пробы, произведенные в хозяйствах Черниговской области, где плотность загрязнения ^{137}Cs колебалась от 37 до 370 кБк/м² (значение 90% квантиля около 150 кБк/м²). Измерения проводились ежегодно в одно и то же время летне-осеннего периода. Количество проб колебалось от 40 до 60 образцов для каждого хозяйства.

В первые годы после аварии наблюдались большие удельные активности ^{137}Cs на естественном фоне от γ -квантов ^{40}K и дочерних продуктов радиоактивного распада ^{232}Th , поэтому основные исследования проводились с применением радиометров ДП-100 и КРК. Точность таких измерений составляла 30–40%. В последние годы соотношение активности ^{137}Cs и естественных радионуклидов существенно изменилось, поэтому измерения проводились с помощью Ge-, Ge(Li)-спектрометров объемом 100–240 см³ с энергетическим разрешением 1,6–1,8 кэВ на γ -линии 662 кэВ, размещенных в защите из низкофонового чугуна. Это позволило избавиться от влияния ^{40}K . Точность измерений была меньше 10%. Данные о ^{90}Sr определены с точностью 30%.

Результаты: Удельные активности и эффективный период полупотерь ^{137}Cs ($T_{\text{эф}}$), полученные из анализа γ -спектрометрических и радиометрических данных (1991–1996 гг.), хорошо согласуются. Удельная активность ^{137}Cs меняется от 580 до 720 дней ($T_{\text{эф}}=640\pm 70$ дней), что меньше соответствующей величины, полученной при анализе глобальных выпадений ($T_{\text{эф}}=4,5$ года).

Выводы: Полученное для глобальных и чернобыльских выпадений расхождение в $T_{\text{эф}}$, вероятнее всего, обусловлено тем, что после прекращения ядерных испытаний в атмосфере СССР и США в 1964 г. большое количество ^{137}Cs , попавшее в верхние слои атмосферы, выпадает двумя характерными периодами, обусловленными движением атмосферных масс: малым и большим (до десяти лет). При аварии на ЧАЭС основные радиоактивные осадки выпали в течение первых двух месяцев после нее. Поэтому к концу 1986 г. прямое загрязнение сельскохозяйственных угодий в исследуемых регионах радиоцезием прекратилось, и к началу измерений (лето 1987 г.) поведение радиоцезия в окружающей среде и продуктах питания и молоке определялось осадками первых двух месяцев после аварии.

Ключевые слова: молоко, удельная активность по ^{137}Cs , эффективный период полупотерь $E_{\text{эф}}$, коллективные дозы облучения населения.

Objective: To obtain the data about effective period of half-loss T_{eff} Cs 134, 137 according to the decrease in Cs-137 concentration.

Material and Methods: The study was done in the districts of Chernigiv Region where the portion of global Cs-137 fallout did not exceed 10% of total Cs-134, 137 activity. The interrelation of Chernobyl activities of Cs-134 and Cs-137 was determined in soil samples from the 30-km zone of Chernobyl Nuclear Power Plant. The measurement was performed simultaneously with taking milk samples.

To study Cs-137 activity, samples of the milk produced in Chernigiv Region where contamination density ranged from 37 to 370 kBq/m² (90% quantile equaled 150 kBq/m²) were taken. The measurement was done every year at the same time in spring and autumn. The number of samples ranged from 40 to 60 for each farm.

During the first years after the accident, large specific activities of Cs-137 were observed against a natural background of K-40 γ -quanta and daughter products of radioactive decay of Th-232, therefore main investigation was performed using ДП-100 and КРК radiometers. The accuracy of the measurement was 30-40%. The ratio of Cs-137 and natural radionuclides has changed considerably in the recent years, therefore the measurement was done with Ge and Ge (Li) spectrometer (100-200 cm³) with energy resolution 1.6-1.8 keV on γ -line 662 keV located in the protection from a low-background iron. It allowed to exclude the influence of K-40. The accuracy of the measurement was <10%. The data about Sr-90 were determined with 30% accuracy.

Results: Specific activity and effective period of half-loss of Cs-137 (T_{eff}) obtained from the analysis of γ -spectrometry and radiometry findings (1991-1996) were in good accordance.

Specific activity of Cs-137 in milk has been decreasing gradually from 1987, while effective period of half-loss of Cs-137 has been changing from 580 to 720 days ($T_{\text{eff}}=640\pm 70$ days), which is less than the respective value obtained at analysis of global fallout ($T_{\text{eff}}=4.5$ years).

Conclusion: The obtained disagreement in T_{eff} for the global and Chernobyl fallout can be due to the fact that after stopping nuclear tests in the atmosphere in the USSR and the USA in 1964, a large amount of Cs-137 in the upper layers of the atmosphere falls out with two characteristic times due to the movement of the atmospheric masses: small and large (up to 10 years). In case of the accident at CNPP, main radioactive fallout was observed during the first two months after the accident. Therefore, by the end of 1986, direct contamination of farms with radioactive cesium had stopped and by the beginning of the measurement (summer of 1987), the action of cesium in the environment and foodstuff and milk was determined by the precipitation during the first two months after the accident.

Key words: milk, specific activity of Cs-137, effective period of half loss T_{eff} , collective doses of population exposure.

Молоко і молочні продукти — важливі складові харчування в Україні й інших країнах СНД. Прийнято вважати, що до

80% колективної дози від внутрішнього опромінення, отриманої населенням, зумовлені саме ^{137}Cs [1]. Тому дуже важли-

вим є одержання інформації про шляхи надходження у молоко радіонуклідів (опад, забруднення ґрунту та ін.), а також прогнозування рівнів забруднення молока з часом [1–3]. Крім цього, даний показник виявляється відразу ж після радіоактивного забруднення сільськогосподарських угідь, тому може служити раннім індикатором його і забруднення багатьох інших продуктів тваринного походження.

Дослідження динаміки зниження концентрації ^{137}Cs у молоці має значні переваги, тому що вимірювання вмісту у ньому даного нукліда забезпечує одержання середньої цифри для великої площі пасовищ при доборі проб з великих об'ємів сировини. Це значно послаблює фактор нерівномірності розподілу випадань за активністю. Так, для виробництва одного літра молока потрібно не менше 50 м^2 інтенсивно чи $100\text{--}200\text{ м}^2$ екстенсивно культивованих пасовищ [4].

Якщо молочна проба взята з типового одноденного збору від $100\text{--}200$ корів, забезпечується усереднення за активністю з площі близько $10\text{--}20$ га, що дуже важливо, бо при вимірюваннях щільності поверхневого забруднення в розглянутих господарствах з інтервалом 500 м концентрація активності за ^{137}Cs змінювалася від 7 до 400 кБк/м^2 [5].

Важливою особливістю даних досліджень є те, що ослаблення концентрації ^{137}Cs від опадів у навколишньому середовищі після випробувань ядерної зброї й у результаті аварії на ЧАЕС принципово відрізняється. Повна кількість опадів ^{137}Cs після вибухів ядерної зброї була на два порядки більшою, ніж після Чорнобильської аварії [6]. Результати прямих досліджень термінової поведінки ^{134}Cs , ^{137}Cs у навколишньому середовищі й продуктах харчування при ядерних вибухах не були однозначними через тривалість опадів, що з різною інтенсивністю продовжувалися кілька років. Навіть після заборони та закінчення таких експериментів опади не припинилися, бо значну кількість радіоцезію було перенесено у верхні шари атмосфери і згодом він, повільно осідаючи, додавався до ранніх випадань. При продовженні випробувань ядерної зброї Китаєм, незважаючи на істотно менший внесок, опади від них знач-

но впливали на величину активності ^{137}Cs у навколишньому середовищі і продуктах харчування.

Це зумовлено тим, що у середньому відносні коефіцієнти пропорційності, які пов'язують щільності забруднення системи «ґрунт—рослина», знаходяться у межах 10^{-2} . Будь-які наступні опади, з концентрацією активності навіть на два порядки меншою первинних, дадуть порівняний чи більший внесок у сумарну активність ^{137}Cs у рослинах, ніж при перших випаданнях. Тому зі спостережень випадань від вибухів ядерної зброї виходять ефективні константи розпаду для рівнів забруднення цезієм продуктів, що відрізняються від тих, яких можна б очікувати для одноразових випадань [7, 8].

Аварія на ЧАЕС дуже подібна за терміновими опадами, типовими для більшості випадкових викидів, тому за зменшенням концентрації ^{137}Cs чорнобильського походження дані про ефективний період напіввтрат ($T_{\text{еф}}$) ^{134}Cs , ^{137}Cs можна отримати з великою вірогідністю.

Для досліджень у Чернігівській області були обрані регіони, де внесок від глобальних випадань ^{137}Cs не перевищував 10% від повної активності ^{134}Cs , ^{137}Cs . Співвідношення чорнобильських активностей ^{134}Cs і ^{137}Cs визначали з вимірювань проб ґрунту з 30-кілометрової зони ЧАЕС. Вимірювання проводили одночасно і з відбором проб молока.

Для вимірювань активності ^{137}Cs відбирали молочні проби, зроблені у 4 колективних і особистих господарствах Семенівського і Ріпкинського районів Чернігівської області України (рис. 1, 2), де щільність забруднення ^{137}Cs була в межах $37\text{--}370\text{ кБк/м}^2$ (значення 90% квантиля близько 150 кБк/м^2). Вимірювання проводили щороку в один і той самий час літньо-осіннього періоду. Кількість проб, активність яких вимірювали у кожному господарстві, становила від 40 до 60 зразків. Вибір такої їх кількості зумовлений метою одержати однаково похибку радіометричних і спектрометричних даних.

У перші роки після аварії спостерігали великі питомі активності ^{137}Cs на природному фоні від γ -квантів ^{40}K і дочірніх продуктів радіоактивного розпаду ^{232}Th , тому основні дослідження проводили із застосу-

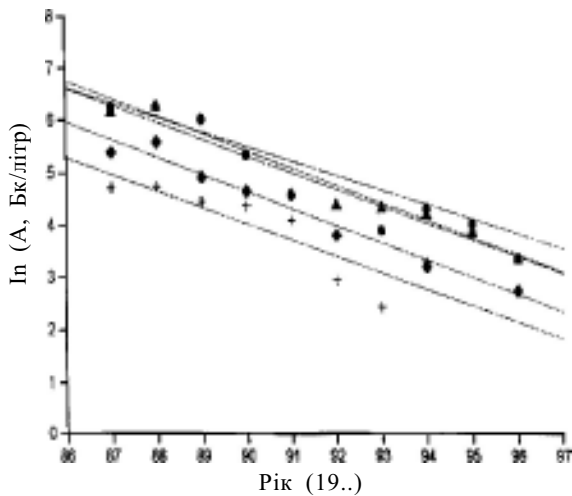


Рис. 1 — Активність молока за ^{137}Cs . Ріпкинський район
 Fig. 1 — Cs-137 activity in the milk. Ripky district

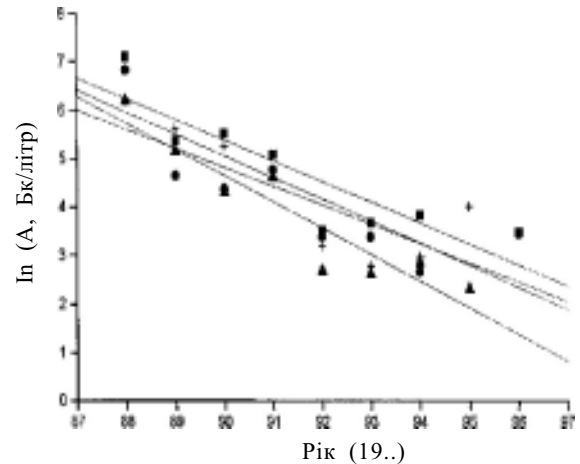


Рис. 2 — Активність молока за ^{137}Cs . Семенівський район
 Fig. 2 — Cs-137 activity in the milk. Semenivsky district

ванням радіометрів ДП-100 і КРК. Точність таких вимірювань становила 30–40%. Окремі проби вивчали на напівпровідниковому спектрометрі й для них же визначали вміст ^{90}Sr . Напівпровідниковий спектрометр складався з Ge- і Ge(Li)-детекторів об'ємом 100–240 см³ з енергетичним дозволом 1,6–1,8 кеВ на γ -лінії 662 кеВ. Детектори були розміщені у захисті з низькофонового чавуну. Це дозволило позбутися впливу ^{40}K . Точність вимірювань на напівпровідниковому спектрометрі була менше 10%. Дані про ^{90}Sr визначено з точністю 30%. В останні роки співвідношення активності ^{137}Cs і природних радіонуклідів істотно змінилися, тому вимірювання проводили за допомогою Ge- і Ge(Li)-спектрометрів.

Отримані для кожного господарства радіометричні дані розглядали як нормальні розподіли. З цього аналізу для 40–60 проб було встановлено, що похибка середнього значення активності ^{137}Cs не перевищує 70%.

Питомі активності й ефективний період напіввтрата ^{137}Cs ($T_{\text{еф}}$), отримані з аналізу γ -спектрометричних і радіометричних даних (1991–1996 рр.), добре узгоджуються. Усереднені результати більше 40 вимірювань ^{137}Cs у молоці всіх господарств з 1987 р. щоразу плавно зменшуються, при цьому ефективний період напіввтрата ^{137}Cs змінюється від 580 до 720 днів ($T_{\text{еф}}=640\pm 70$), що менше, ніж відповідна величина, отримана при аналізі глобальних випадань

($T_{\text{еф}}=4,5$ року).

Встановлена у $T_{\text{еф}}$ розбіжність для глобальних і чорнобильських випадань найімовірніше зумовлена тим, що після припинення ядерних випробовувань в атмосфері СРСР і США в 1964 р. велика кількість ^{137}Cs , що потрапив до верхніх шарів атмосфери, випадає з двома характерними періодами, зумовленими рухом атмосферних мас: малим і великим (до 10 років).

У випадку аварії на ЧАЕС основні радіоактивні опади випали протягом перших двох місяців після неї. Тому до кінця 1986 р. пряме забруднення радіоцезієм сільськогосподарських угідь у досліджуваних регіонах припинилося, і до початку вимірювань (літо 1987 р.) поведінка цього нукліда у навколишньому середовищі й продуктах харчування та молоці визначалася опадами перших двох місяців після аварії.

Результати аналізу величини ефективного періоду напіввтрата ^{137}Cs у Ріпкинському районі в останні роки вказують на тенденцію до її збільшення. Ймовірно, це пов'язано зі значним внеском глобальних випадань у цій місцевості [5], що, з урахуванням $T_{\text{еф}}=4,5$ р. для глобальних випадань, приводить до збільшення $T_{\text{еф}}$, що спостерігається.

Отримана величина ефективного періоду напіввтрата ^{137}Cs добре узгоджується з даними [9] ($T_{\text{еф}}=500\text{--}680$ дн.), де представ-

лено дослідження поведінки чорнобильських випадань ^{137}Cs в Австрії.

Дата надходження: 05.07.2001.

Адреса для листування:

Бондарьков М.Д.,
НЦ «Інститут ядерних досліджень» НАНУ, пр-т Науки, Київ,
03650, Україна

Висновки

Отриману величину $T_{\text{еф}}$ ми використовували для оцінок величин колективних доз опромінення населення протягом 50 років. Зокрема, розрахунки показали, що в Семенівському районі на початку 90-х років ефективна еквівалентна доза опромінення населення «чорнобильськими» радіонуклідами за рахунок зовнішнього опромінення складає близько 0,02 мЗв/р., а внутрішнього — близько 0,04 мЗв/р. [10]. Якщо прийняти величину $T_{\text{еф}}=1,7$ р., а не 4,5 р., то це зменшує еквівалентну дозу опромінення населення даними радіонуклідами не менше ніж удвічі.

На нашу думку, становить великий інтерес виконання таких же досліджень для ^{90}Sr , ^{239}Pu , ^{140}Pu і ^{241}Am , внесок яких може істотно змінити колективну дозу. Особливо актуальні такі дослідження для Козелецького району, де співвідношення ізотопів $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ досягає величини 0,5 [5], а в 1986–1989 рр. спостерігалася велика кількість «гарячих частинок» [11].

Література

1. Алексахин Р.М. // Радиозэкологические последствия чернобыльской аварии / Под ред. И.И. Крышева. — М., 1991. — 172 с.
2. Книжников В.А., Бархударов Р.М., Брук Г.Я. и др. Поступление радионуклидов по пищевым цепям как фактор облучения населения СССР после аварии на ЧАЭС // Медицинские аспекты аварии на Чернобыльской АЭС. — К.: Здоров'я, 1988. — С. 66–76.
3. Корнеев Н.А., Поваляев А.П., Алексахин Р.М. и др. // Атомная энергия. — 1988. — Т. 65, вып. 2. — С. 129–134.
4. Mück K., Roth K., Gerzabek M.H., Oberlander H.-E. // J. Environ. Radioact. — 1994. — Vol. 56. — P. 127–143.
5. Бондарьков М.Д., Вишневский И.Н., Донец Н.П. и др. Исследование радиозэкологической обстановки в регионах, примыкающих к 30-километровой зоне ЧАЭС // IAEA-CN-54-71. — Paris, France, 1994.
6. Mück K. // Kerntechnik. — 1996. — Vol. 61. — P. 259–270.
7. Coughtrey P.J., Thorne M.C. Radionuclide distribution and transport in terrestrial and aquatic ecosystems. A critical review of data. — Rotterdam: Baikema-Publ., 1983.
8. Mück K., Karg V. // Meet. Austrian Radiat. Prot. Soc. — Vienna, 1988. — OEFZS-4490.
9. Mück K. // The Science of the Tot. Environ. — 1995. — Vol. 162. — P. 63–73.
10. Бондарьков М.Д., Вишневский И.Н., Донец Н.П. и др. Оценка дозовых нагрузок на основании спектрометрических и радиометрических данных // IAEA-CN-54-72. — Paris, France, 1994.
11. Желтоножский В.А., Казаков С.В., Лашко Т.Н. и др. // Весті АН БССР. — 1994. — Сер. фіз. -эн. — № 4. — С. 69–73.