

ПОРІВНЯННЯ РАДІОЕКОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ПРИКЛАДІ СІЛ, ЗАБРУДНЕНИХ ^{137}Cs ТА ^{90}Sr , ОЦІНЕНИХ ЗА МЕТОДОМ КАМЕРНИХ МОДЕЛЕЙ

I. В. Матвєєва, Ю. О. Кутлахмедов, В. М. Ісаєнко, В. М. Криворотько

Національний авіаційний університет, Київ

Розглянуто результати аналізу потоків радіонуклідів ^{137}Cs на прикладі с. Галузія Волинської області та забрудненого ^{90}Sr в екосистемі с. Коцюбинчики Тернопільської області. При аналізі та моделюванні використано метод камерних моделей. Було створено блок-схеми екосистем та розроблено математичні моделі. Це дозволило оцінити шляхи формування дозових навантажень внутрішнього опромінення за рахунок продуктів харчування для різних груп населення (працюючих, пенсіонерів та дітей) і спрогнозувати динаміку цих навантажень у подальші роки після аварії на ЧАЕС. Установлено, що дозові навантаження населення в цих селах формуються по-різному залежно від радіонукліда, рівнів забруднення та об'єму споживання продуктів харчування, структури пасовищ та рівнів їх радіонуклідного забруднення.

Вступ

Відомо, що на території України є села, забруднені ^{137}Cs або ^{90}Sr . Зрозуміло, що такі екосистеми можуть мати особливості радіоекологічних процесів та формування дозових навантажень на населення. Чисельними дослідженнями було встановлено, що на територіях ряду сіл України формуються значні дозові навантаження в людей. Це пов'язано насамперед з великими значеннями коефіцієнтів переходу в системі „грунт - рослини” та високими рівнями забруднення сіна, молока, м'яса, лісових продуктів – грибів та ягід. Тому важливо було зробити порівняння особливостей радіоекологічних процесів у типових екосистемах селищ України з різними варіантами забруднення.

Нашими дослідженнями [1, 2] було встановлено, що на території Маневецького району (с. Галузія) у Волинській області, забрудненого внаслідок аварії на ЧАЕС в основному ^{137}Cs , формуються значні дозові навантаження в людей унаслідок вживання продуктів харчування сільськогосподарського та лісового походження. Для порівняння та подальшого розвитку даного підходу було важливо перевірити та застосувати метод камерних моделей для села, де домінує забруднення не ^{137}Cs , а іншим дозоутворюючим біогенним радіонуклідом – ^{90}Sr . Цей радіонуклід небезпечніший, особливо для дітей, і формує дозу опромінення у людей, в основному, за рахунок вживання молока.

Для таких досліджень [3] нами було обрано с. Коцюбинчики Тернопільської області, що має невеликі рівні забруднення, але є достатньо багаторічних даних вимірювань на базі Тернопільської обласної санітарно-епідеміологічної станції, Тернопільської обласної державної проектно-вишукувальної станції хімізації сільського господарства, Тернопільського обласного центру з

гідрометеорології тощо. На основі аналізу натурних даних, люб'язно наданих нам цими організаціями, та літературних джерел було встановлено, що цих даних достатньо для моделювання та оцінок дозових навантажень на населення за нашим підходом.

У роботі було застосовано розроблений нами системний тип радіологічного дослідження обох населених пунктів [1 - 3], що охоплює основні ланки трофічного ланцюга „грунт - сіно - корови - молоко - лісові продукти - люди”. Для дослідження нами використано метод математичного моделювання за допомогою камерних моделей, що дає змогу мати адекватну оцінку та прогноз радіоекологічних процесів у таких екосистемах [4, 5].

Попередні оцінки [1] показали, що для даної території є три основних потоки надходження радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr до людини. Перший із них – через урочища (пасовища та сіножаті), рослинність яких є кормовою базою для молочної та м'ясної худоби. Він формує в середньому до 80 % усієї дози. Другий потік – надходження радіонуклідів через лісові продукти (гриби та ягоди), що складає в середньому 10 % загальної дози (це стосується с. Галузія). Третій потік – присадибна ділянка (город), він забезпечує в середньому 10 - 20 % від загальної внутрішньої дози для жителів цих населених пунктів.

Мета дослідження

Основна мета роботи: порівняльне дослідження процесу міграції радіонуклідів (^{137}Cs та ^{90}Sr) по трофічному ланцюгу „грунт - кормові рослини - корова - молоко - людина” в умовах достатньо високих рівнів накопичення ^{137}Cs (с. Галузія) та ^{90}Sr (с. Коцюбинчики) у рослинності та проведення математичного моделювання даного процесу.

Методи дослідження

Для Волині було використано: дані натурних експедиційних досліджень вмісту ^{137}Cs у ґрунті, рослинах, молоці, коровах (прижиттєво) та у людей (вимірювання на лічильниках випромінювань людини – ЛВЛ), опитування населення с. Галузія; експериментальні дослідження на полігонах та в умовах Сарненської дослідної станції; радіометричні та гамма-спектрометричні вимірювання зразків [1]; математичне моделювання з використанням камерних моделей [4, 5].

Для території с. Коцюбинчики на Тернопільщині нами було використано літературні дані та дані натурних досліджень вмісту ^{137}Cs та ^{90}Sr у ґрунті, рослинах, молоці, наданих нам СЕС [3]; а також математичне моделювання з використанням камерних моделей.

Нами було детально досліджено раціон харчування населення обраних населених пунктів. У порівнянні зі стандартним раціоном жителів України (ДР-2003) у с. Галузія відзначено аномалії: великі варіації у вживанні молока (від 0 до 3 л. на день, за даними опитування) та значне вживання лісових продуктів. Для с. Коцюбинчики таких аномалій не виявлено (споживання молока від 0,5 до 1 л на день).

Оцінка та моделювання радіоекологічних процесів у с. Галузія на Волині та у с. Коцюбинчики Тернопільської області

Нами був розроблений варіант методу камерних моделей, що дає змогу оцінювати екологічну та радіаційну безпеку для типових населених пунктів України, що постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи.

У моделі враховано всі основні потоки радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr (інших радіонуклідів у цих селах не було визначено). Важливо, що дані села характеризуються досить малими рівнями радіонуклідного забруднення ґрунту: від 1 - 2 $\text{Кі}/\text{км}^2$ ^{137}Cs (с. Галузія), а по ^{90}Sr - від 1,2 до 1,3 $\text{Кі}/\text{км}^2$ (с. Коцюбинчики).

Блок-схеми для сіл Галузія та Коцюбинчики представлено на рис. 1 і 2. Наведені блок-схеми камерних моделей включають п'ять основних пасовищ та сіножатей, городні й лісові екосистеми (останні мали місце на Волині, для с. Коцюбинчики складові лісової продукції не треба було враховувати). Вибрані нами для дослідження села є типовими, тому блок-схеми для них подібні за своєю структурою. Звісно, що села відрізняються за деталями радіоекологічних параметрів, рівнями та типами забруднення, значеннями коефіцієнтів накопичення тощо. Така

принципова подібність характерна для більшості забруднених сіл України.

Ця подібність дозволила нам побудувати спрощені блок-схеми камерних моделей потоків радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr від пасовищ, деякі з них сіножаті (сіянка), від лісових продуктів (грибів і лісових ягід) та городньої продукції з присадибних ділянок. Схему розрахунку типової камерної моделі представлено на рис. 3.

Нами за допомогою програмового продукту MAPLE-V було сформовано камерну модель даних сіл у вигляді системи з 30 - 32 диференціальних рівнянь. Числові коефіцієнти цих рівнянь оцінено за даними натурних досліджень та існуючих літературних даних [1 - 3, 5]. Використані значення коефіцієнтів переходу між камерами розраховані на основі натурних досліджень та/або теоретично за даними СЕС щодо прямих вимірювань. У результаті моделювання отримано оцінки очікуваного забруднення радіонуклідами основних продуктів харчування людей: молока, м'яса, картоплі та овочів; а для с. Галузія – ще й лісових продуктів. Важливою компонентою дозоутворення у цьому селі, забрудненому ^{137}Cs , є використання лісових продуктів – грибів та ягід. Дані про забруднення основних дозоутворюючих продуктів у с. Галузія [1] становлять: молоко – 40 - 1000 Бк/л, м'ясо – 15 - 400 Бк/кг, гриби – 1500 - 120000 Бк/кг. У с. Коцюбинчики, за даними СЕС, рівні забруднення продуктів ^{90}Sr значно менші: молоко – 2 - 30 Бк/л, м'ясо – 5 - 60 Бк/кг.

За розробленою моделлю було отримано розрахункові дані щодо потоків радіонуклідів по камерах екосистеми, що досліджується. Показано, що основні дозові навантаження по трьох групах населення села (діти, працюючі та пенсіонери) формуються за рахунок постійного вживання молока від корів, які випасаються на досліджуваних пасовищах. Доза від уживання молока становить до 40 - 60 % в с. Галузія та 50 - 70 % від усієї дози для людей у с. Коцюбинчики. Діючий норматив на припустимі рівні забруднення молока по ^{90}Sr становить до 20 Бк/л, а по ^{137}Cs – 100 Бк/л (ДР-2003). Зокрема, за даними моделювання нами показано, що помітні рівні забруднення молока в с. Галузія формуються на території на відносно малих рівнях радіонуклідного забруднення, відразу після аварії й надалі накопичуються в часі. Це пояснює дані літератури про те, що дійсно суттєві рівні забруднення молока було визначено в с. Галузія тільки в 1993 р., і саме тоді село було віднесено до 2-ї зони. Водночас для с. Коцюбинчики картина інша. Дані літератури свідчать про те, що помітні рівні забруднення молока за ^{90}Sr було визначено у с. Коцюбинчики тільки у 1998 р.

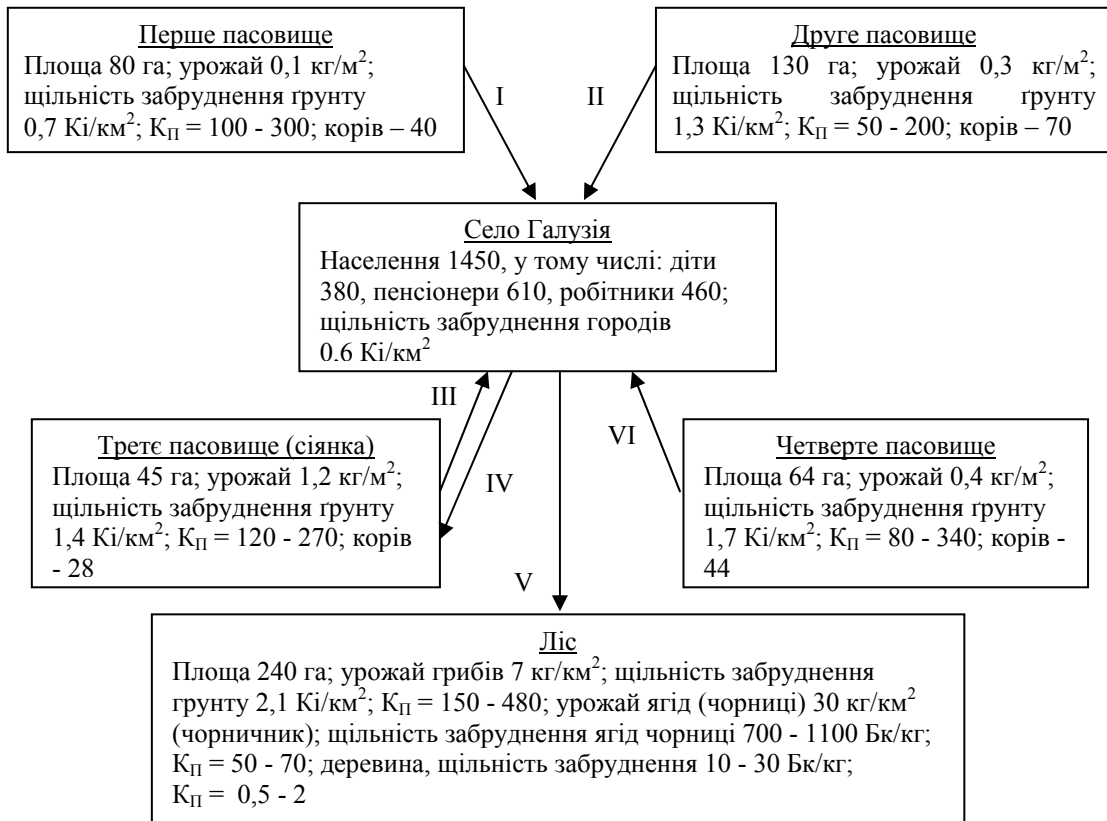


Рис. 1. Принципова блок-схема основних складових екосистеми, що досліджується. Забруднення території ¹³⁷Cs (с. Галузія).

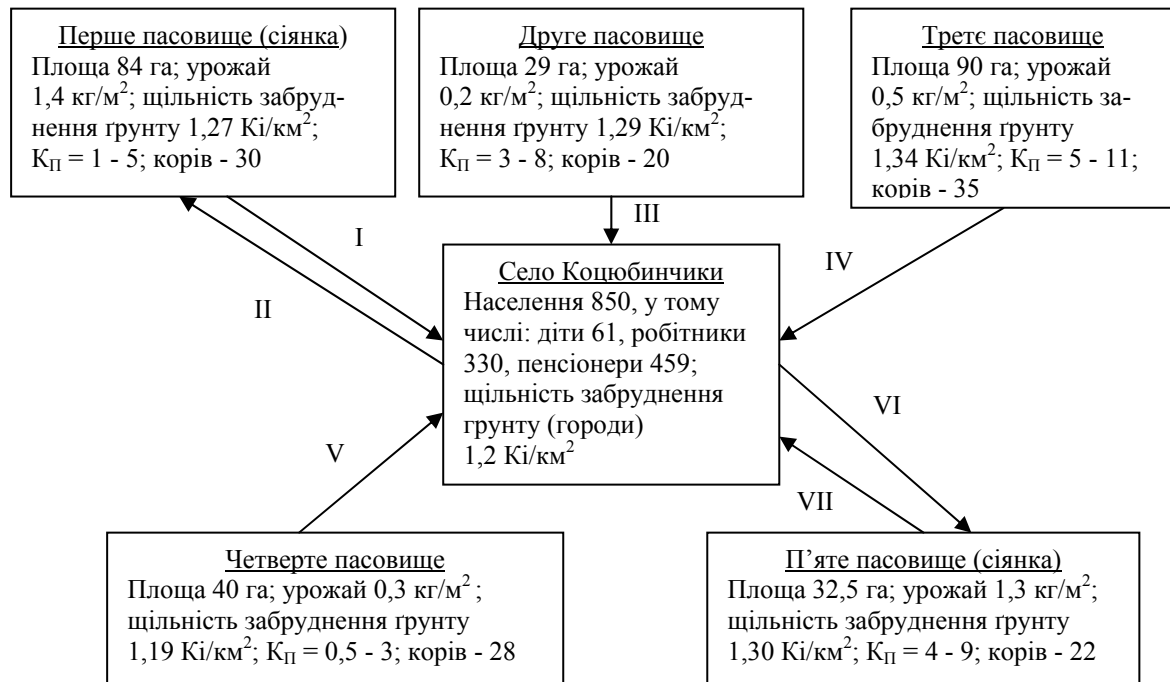


Рис. 2. Принципова блок-схема основних складових екосистеми, що досліджується. Забруднення території ⁹⁰Sr (с. Коцюбинчики).

Побудова та аналіз камерних моделей

Розглянемо камерні моделі потоків радіонуклідів на прикладі сіл Галузія та Коцюбинчики. До моделей включено по п'ять основних пасовищ (одно або два з яких сіножаті-сіянки) з різними рівнями забруднення радіонуклідами й коефіцієнтами переходу, що отримані з натурних досліджень, за даними СЕС та літературних джерел.

Нами було проведено розрахунок моделі, яка складалася з 31 камери, із середніми значеннями швидкостей переходу між камерами, що вписані до рівнянь [2, 3]. Для першого пасовища: $x_1(t)$ – камера “грунт на пасовищі”; $y_1(t)$ – камера “трава на пасовищі”; $z_1(t)$ – камера “корови”; $k_1(t)$ – камера “молоко”; $l_1(t)$ – камера “діти”; $m_1(t)$ – камера “пенсіонери”; $n_1(t)$ – камера “працюючі”; $o_1(t)$ – камера “м'ясо корів”; $r_1(t)$ – камера “експорт”; $p_1(t)$ – “відходи життєдіяльності корів”; a_{47} – швидкість переходу радіонуклідів з молоком до організмів дітей; a_{48} – швидкість переходу радіонуклідів з молоком до когорти пенсіонерів; a_{49} – швидкість переходу радіонуклідів з молоком до когорти працюючих людей; a_{410} – вивіз радіонуклідів з молокопродуктами на експорт; a_{57} – перехід радіонуклідів з м'ясом до організмів

дітей; a_{58} – перехід радіонуклідів з м'ясом до когорти пенсіонерів; a_{59} – перехід радіонуклідів з м'ясом до когорти працюючих людей, a_{510} – вивіз радіонуклідів з м'ясом на експорт; a_{35} – перехід радіонуклідів із раціону корів до м'яса; a_{36} – виведення радіонуклідів з організму корів із відходами. Аналогічні рівняння побудовано для всіх інших пасовищ і сіножатей.

У наших попередніх статтях [1, 2] було розглянуто моделі для умов середнього вживання продуктів на місці та вивозу продукції для обох досліджуваних сіл для того, щоб можна було їх адекватно порівнювати. Аналогічно побудовано системи рівнянь для всіх інших пасовищ, городу й лісу (тільки для с. Галузія).

Наведемо дані розрахунків отриманої колективної дози для трьох груп населення – працюючих, пенсіонерів та дітей. Ці категорії населення дуже відрізняються за раціоном харчування.

Частину даних розрахунків по камерних моделях представлено на рис. 3 для оцінки накопичення дози в різних груп населення в с. Галузія. На рис. 4 представлено криві динаміки накопичення дози в різних груп населення в с. Коцюбинчики.

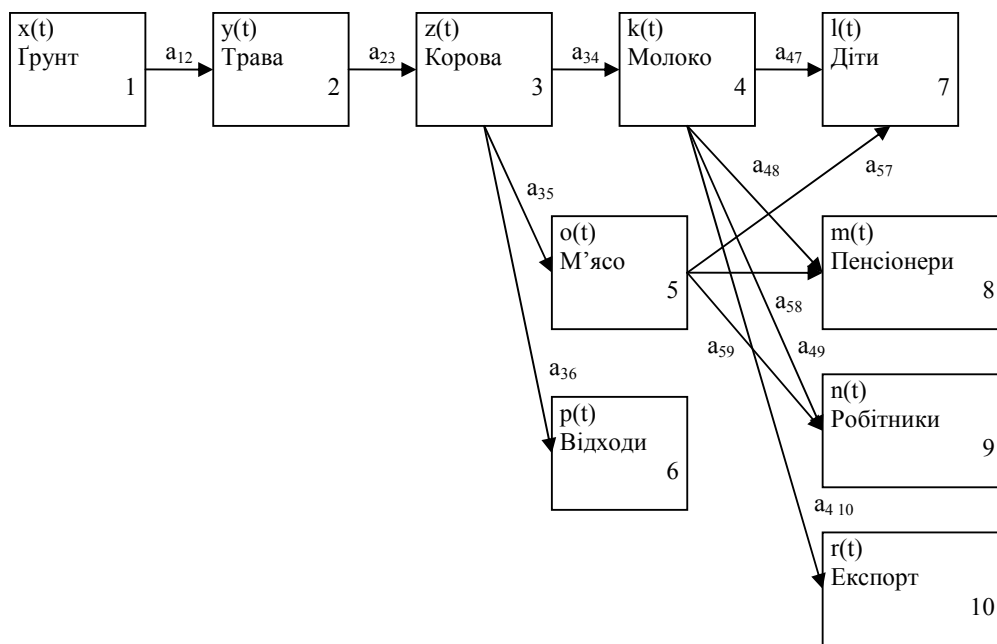


Рис. 3. Структурована блок-схема екосистем, що досліджуються. Тут вказано основні напрямки потоків радіонуклідів до людини та параметри швидкості цих потоків. Числові значення швидкостей переходу радіонуклідів між камерами отримано шляхом розрахунків і використано при моделюванні.

На рис. 4 і 5 на осі ординат нанесено відносні дані розрахунків накопичення колективної дози через процент від усього запасу радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr , що надходять до людей з роками після аварії (вісь абсцис) і формують колективну до-

зу для різних когорт населення. Видно за даними моделювання, що мінімальна доза отримана від молока для дітей в с. Коцюбинчики. Для с. Галузія мінімальні колективні дози формуються у когорті пенсіонерів. Очевидно, що поки на 20-й

рік після аварії в с. Коцюбинчики не треба чекати помітних доз опромінення населення від ^{90}Sr . Але з часом ці дози можуть зростати. Порівнюючи графіки, видно, що накопичені колективні дози в с. Галузія складають на 20-й рік після аварії від 0,2 - 0,4 % , а для с. Коцюбинчики біля 0,01 -

0,02 %. Ураховуючи запаси радіонуклідів у досліджуваних селах, можна оцінити накопичену в населення за 20 років колективну дозу. Для с. Галузія вона становить помітну величину 40 - 80 люд.-Зв, а для с. Коцюбинчики колективна доза значно менша – 0,3 - 0,5 люд.-Зв.

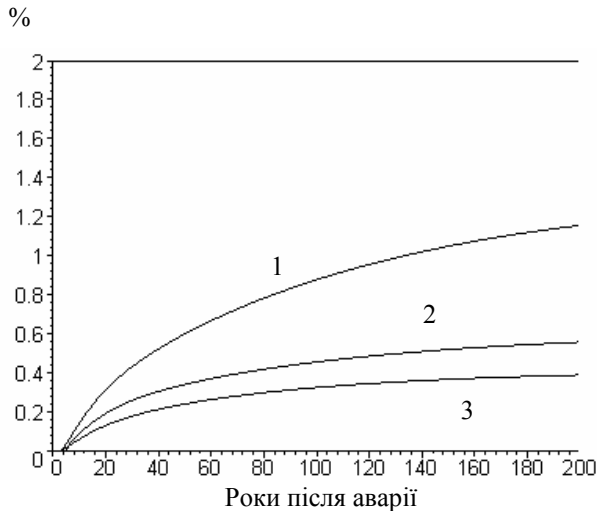


Рис. 4. Процент від запасу радіонуклідів, що формує колективну дозу з часом для когорти працюючих (1), для когорти дітей (2), для когорти пенсіонерів (3). (с. Галузія).

Порівнюючи дані розрахунків по вибраних двох селах, треба відзначити суттєві відмінності в них. Так, для с. Галузія (див. рис. 4) характерне спочатку стрімке, а потім уже повільне накопичення колективної дози в різних групах населення. При цьому найбільші рівні доз опромінення слід очікувати для групи працюючих, менше й повільніше може проходити накопичення колективних доз для дітей у даному селі. При цьому мінімальні рівні накопичення колективних доз слід чекати для когорти пенсіонерів. Зрозуміло, що такий хід кривих обумовлено насамперед раціоном харчування, зокрема великим рівнем уживання молока в працюючих та дітей у с. Галузія, а для пенсіонерів цей рівень споживання значно нижчий [1].

Для даних по с. Коцюбинчики (див. рис. 5) характерна інша поведінка динаміки накопичення колективної дози в різних соціальних групах населення. Тут можна очікувати дуже повільне накопичення дози спочатку, а потім поступове, практично експоненційне зростання накопиченої дози в часі для всіх когорт населення. При цьому максимальні колективні дози можна очікувати для працюючих, як і в с. Галузія. А от наступними за рівнем накопичення дози можуть бути пенсіонери, а відносно мінімальні дози можна чекати для дітей с. Коцюбинчики. Це, насамперед, пояснюється відносно малою кількістю дітей

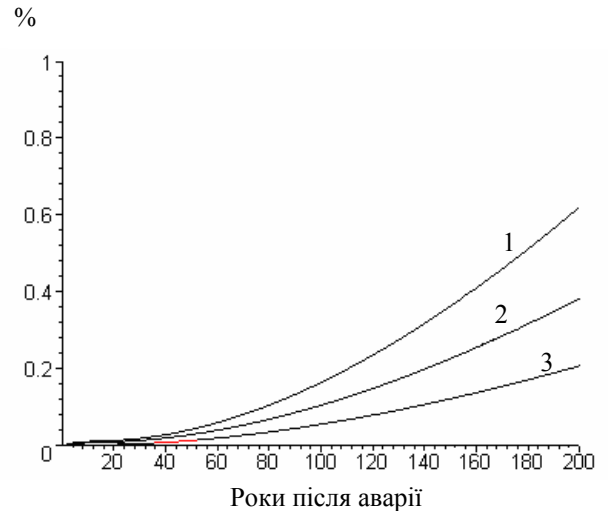


Рис. 5. Процент від запасу радіонуклідів, що формує колективну дозу з часом для когорти працюючих (1), для когорти пенсіонерів (2), для когорти дітей (3). (с. Коцюбинчики).

(380 – у с. Галузія і 61 – у с. Коцюбинчики). Порівнюючи дані розрахунків на рис. 4 та 5, слід відзначити, що в цілому дози для с. Коцюбинчики мінімум на два порядки менші, ніж для с. Галузія. Це зрозуміло, оскільки рівні забруднення продуктів у с. Галузія, як правило, у 2 - 30 разів вищі, ніж у с. Коцюбинчики. Важливо, що практично на 20-й рік після аварії рівень накопичення колективної дози в населення с. Коцюбинчики значно менший, ніж для с. Галузія.

Різниця між цими агроекосистемами щодо радіоекологічних процесів та параметрів накопичення колективних доз чітко пов'язана з різними радіонуклідами, різними коефіцієнтами накопичення, різницею в споживанні продуктів харчування, різною чисельністю груп населення. Позитивну роль у формуванні меншої колективної дози в с. Коцюбинчики відіграє відсутність внеску лісової компоненти в накопичення колективної дози. У той же час для с. Галузія лісова компонента виконує помітну роль у формуванні колективної дози. Вважаємо, що ці явища відображають фундаментальні особливості у формуванні колективної дози для населення України щодо агроекосистем при значному внеску лісової складової (приклад с. Галузія) та у випадку агроекосистем, де відсутня лісова компонента накопичення колективної дози (с. Коцюбинчики).

Заключення

У результаті цих досліджень створено системний тип радіологічного дослідження населених пунктів (що охоплює основні ланки: ґрунти, сіно, корови, молоко, лісові продукти, люди), тому для цього підходу в даній роботі використано метод математичного моделювання за допомогою камерних моделей, що дозволяє мати адекватну оцінку та прогноз радіоекологічних процесів у таких екосистемах.

За даними моделювання та натурними дослідженнями було встановлено, що на територіях, подібних до агроекосистем сіл Галузія та Коцюбинчики, з часом можуть сформуватися помітні дозові навантаження у людей внаслідок високих значень коефіцієнтів переходу в системі „ґрунт - рослина” та помітних (іноді перевищуючих нормативи ДР-2003) рівнів забруднення сіна, молока, м'яса і особливо лісових продуктів – грибів та ягід [1].

Наші попередні оцінки [1] показали, що для даної території України, що адекватно відображено в характеристиках агроекосистем (села Галузія та Коцюбинчики), є три основних потоки надходження радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr до людини. Перший із них – через урочища (пасовища та сіножаті), рослинність яких є кормовою базою для молочної та м'ясної худоби. Другий потік – присадибна ділянка (город), забезпечує близько 10 - 20 % від загальної дози для жителів двох населених пунктів. Третій потік – надходження ра-

діонуклідів через лісові продукти (гриби та ягоди), що складає біля 10 % загальної колективної дози (характерний для с. Галузія).

Висновки

1. Розроблено та проаналізовано камерні моделі реальної екосистеми с. Галузія Волинської області та с. Коцюбинчики Тернопільської області.

2. У результаті моделювання отримано оцінки та прогноз очікуваного забруднення радіонуклідами ^{137}Cs та ^{90}Sr основних продуктів харчування людей – молока, м'яса, картоплі та овочів, що відображено в значеннях колективних дозових навантажень для людей.

3. Установлено, що важливою складовою дозоутворення в регіоні Волині є використання лісових продуктів (грибів, ягід).

4. За результатами моделювання визначено, що зараз, за 20 років після аварії на ЧАЕС, у людей формуються помітні дози опромінення від ^{137}Cs для селищ типу Галузія (від 40 до 80 люд.-Зв), де є великий внесок у колективну дозу лісової складової. Водночас для селищ типу Коцюбинчики, де домінує забруднення від ^{90}Sr та відсутня лісова складова колективної дози, формуються незначні дози опромінення від ^{90}Sr (за 20 років колективна доза становить 0,3 - 0,5 люд.-Зв), але з часом тут можна очікувати помітного збільшення доз.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Методология систематизации и адаптации моделирующей прогнозно-аналитической системы для создания мер по снижению негативных эффектов для экосистем и населения / Под общ. ред. В. П. Зотова и Ю. А. Кутлахмедова.* - К.: Медэкoл-МНИЦ Био-Экосистем, 2003. - 216 с.
2. *Матвєєва І.В., Зайтов В.Р., Кутлахмедов Ю.О., та ін.* Моделювання радіоекологічних процесів методом камерних моделей на прикладі села у Волинській області // Вісн. Національного авіаційного ун-ту. - 2005. - № 3. - С. 173 - 176.
3. *Матвєєва І.В., Кутлахмедов Ю.О., Ісаєнко В.М., Криворотько В.М.* Особливості радіоекологічних процесів у селі Тернопільської області, оцінених за методом камерних моделей // Там же. - 2006. - № 2. - С. 178 - 181.
4. *Беляев С.Т.* Радиоактивные выбросы в биосфере. - М.: Атомиздат, 1991. - 237 с.
5. *Кутлахмедов Ю.О., Корогодін В.І., Кольтовер В.К.* Основи радіоекології. - К.: Вища шк., 2003. - 319 с.

СРАВНЕНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПРИМЕРАХ СЕЛ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ^{137}Cs И ^{90}Sr , ОЦЕНЕННЫХ ПО МЕТОДУ КАМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

И. В. Матвеева, Ю. А. Кутлахмедов, В. Н. Исаенко, В. М. Криворотько

Рассмотрены результаты анализа потоков радионуклидов ^{137}Cs на примере с. Галузія Волинской области и загрязненного ^{90}Sr в экосистеме с. Коцюбинчики Тернопольской области. Анализ сделан методом камерных моделей. Были созданы блок-схемы экосистем и разработаны математические модели методом камерных моделей. Это позволило оценить пути формирования дозовых нагрузок внутреннего облучения за счет продуктов питания для разных групп населения (работающих, пенсионеров и детей) и спрогнозировать динамику этих нагрузок в последующие годы после аварии на ЧАЭС. Установлено, что дозовые нагрузки в этих селах формируются по-разному в зависимости от радионуклида, структуры пастбищ и уровней их загрязнения.

COMPARISON OF RADIOECOLOGICAL PROCESSES ON EXAMPLES OF VILLAGES, POLLUTED BY ^{137}Cs AND ^{90}Sr OF THE BOX MODELS, APPRECIATED ON A METHOD**I. V. Matveeva, Yu. A. Kutlakhmedov, V. N. Isaenko, V. M. Krivorot'ko**

Results of the analysis of ^{137}Cs radionuclides flows as an example of village Galusia of the Volyn region and in ecosystem of village Kotsyubynchyky in Ternopil region polluted by ^{90}Sr are considered. The analysis is made by the method of box models. The block diagrams of ecosystems were created, and the mathematical models by the method of box models are developed. It has allowed estimating ways of formation doses of an internal irradiation at the expense of products of meal for different groups of population – working people, pensioners and children, and prognosed dynamics of these doses for the next years after Chornobyl NPP accident. It was established, that doses in these villages formed by other ways, depending on radionuclide, pastures structure and levels of their pollution.

Надійшла до редакції 27.04.06,
після доопрацювання – 12.10.06.