

Л. А. Райчук¹
Т. Л. Кучма¹
І. К. Швиденко¹
Ю. В. Гаврилюк²

ПРОГНОЗУВАННЯ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ТЕРИТОРІЇ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДЗЗ

¹ Інститут агроєкології і природокористування НААН;

² Луганський національний університет імені Тараса Шевченка

Анотація

Встановлено, що для попереднього визначення радіологічно критичних територій, які потребують проведення комплексного радіоекологічного моніторингу, доцільно використовувати дозу внутрішнього опромінення населення. Розроблено математичну модель винесення ¹³⁷Cs з агроландшафтів Українського Полісся у віддалений період після аварії на ЧАЕС. Розроблено радіоекологічно-ландшафтну карту, що дає змогу адекватного оцінювання сучасної та прогнозованої радіоекологічної ситуації та оперативного розроблення системи заходів, спрямованих на поліпшення ситуації.

Ключові слова: ¹³⁷Cs, математичне моделювання, дистанційне зондування, доза внутрішнього опромінення, радіоекологічна карта.

Abstract

It was established that the internal irradiation dose of the population should be used for preliminary identification of radiologically critical areas that require comprehensive radioecological monitoring. A mathematical model of ¹³⁷Cs removal from agrolandscapes of Ukrainian Polissya in the remote period after the Chernobyl accident has been developed. A radioecological and landscape map has been developed, which makes it possible to adequately assess both current and forecast radioecological situations and promptly develop systems of measures aimed at improving the situation.

Keywords: ¹³⁷Cs, mathematical modeling, remote sensing, internal irradiation dose, radioecological map.

Вступ

За час, що минув з моменту аварії на Чорнобильській АЕС, радіаційна ситуація в регіонах, що постраждали внаслідок радіаційного забруднення, істотно змінилась: площа забрудненої радіонуклідами території та рівні цього забруднення зменшилися, четверта зона радіаційного забруднення була скасована. Всі ці обставини, поряд із внутрішніми соціально-економічними потребами та викликами, а також зовнішніми чинниками, зокрема прагненням України до інтеграції в Європейський економічний простір, зокрема в контексті Європейського Зеленого Курсу, викликали гостру необхідність максимально можливого залучення радіоактивно забруднених земель до процесу виробництва. Прийняття відповідних управлінських рішень та розроблення стратегій розвитку як сільськогосподарського виробництва, так і постраждалого регіону загалом вимагає наявності актуальної інформації стосовно рівнів забруднення території радіонуклідами. Проте вже впродовж тривалого часу системного широкомасштабного радіоекологічного моніторингу не проводилось, і подекуди господарська діяльність ведеться з порушенням чинного законодавства. Це, своєю чергою, приводить нас до необхідності оновлення даних стосовно радіаційного забруднення угідь та створення відповідної генералізованої бази даних. Однак це передбачає затрату значних коштів і зусиль, що є вагомою перешкодою. Тому одним із логічних та доцільних варіантів вирішення такої проблеми є застосування методів математичного моделювання та засобів дистанційного зондування землі, які, окрім усього іншого, дозволяють отримати результати за коротший термін та стосовно великих територій. За післяаварійний період дослідниками було отримано достатню кількість інформації для побудови адекватних математичних моделей міграції радіонуклідів у різних

ландшафтах та екосистемах, тоді як геоінформаційні технології дають змогу отримати оперативні дані про певні характеристики територій.

Тому метою роботи є розроблення радіоекологічно-ландшафтної карти для інформаційного забезпечення вирішення проблем оздоровлення довкілля, забезпечення умов, сприятливих для життєдіяльності людей та господарської реабілітації радіаційно забрудненого району.

Результати дослідження

Для попереднього визначення радіологічно критичних територій, які потребують проведення комплексного радіоекологічного моніторингу в першу чергу, може слугувати доза внутрішнього опромінення населення як інтегральний показник радіологічного та соціально-економічного стану певного населеного пункту чи регіону. Зокрема, було встановлено, що розподіл дози внутрішнього опромінення більшості обстежених населених пунктів Українського Полісся краще апроксимується логарифмічно нормальним розподілом, аніж нормальним (рис. 1), що свідчить про наявність кількох переважаючих чинників у формуванні цієї величини та можливості зростання її абсолютних значень [1]. Також вартим уваги є факт появи властивостей експоненційного розподілу, властивого статистичним сукупностям, котрі є незмінними або малозмінними, що свідчить про абсолютну стабілізацію дозоформуючих чинників для цих поселень [2]. Логічним є припущення, що експоненційний закон розподілу дози внутрішнього опромінення населення Українського Полісся, зважаючи на відносну стабільність соціо економічної і радіологічної ситуацій, буде з часом характерним для багатьох населених пунктів регіону.

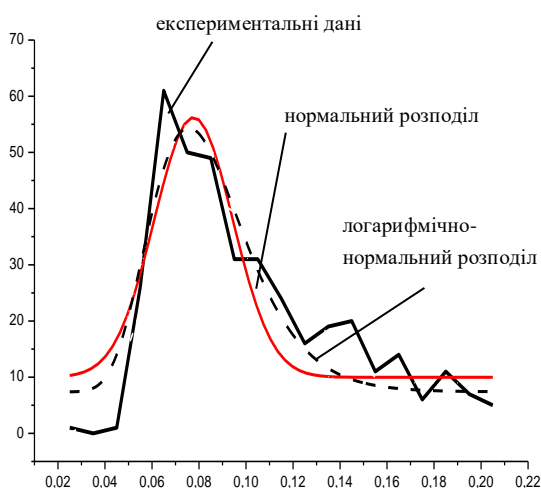


Рис. 1. Розподіл доз внутрішнього опромінення мешканців населених пунктів Українського Полісся в осінньо-зимовий період

На основі результатів власних багаторічних досліджень та загальнодоступних опублікованих даних стосовно рівнів радіоактивного забруднення території Українського Полісся, сільськогосподарської продукції, отриманої в регіоні і відповідних коефіцієнтів переходу, нами було розроблено математичну модель винесення ^{137}Cs з агроландшафтів Українського Полісся у віддалений період після аварії на ЧАЕС. У моделі ми розглядали агроландшафт досліджуваного регіону як сукупність чотирьох макроблоків (екосистем), що є елементами модельованого агроландшафту: «лісова екосистема», «польова екосистема», «лукопасовищна екосистема» та «садова екосистема». Кожна з них має власну структуру і кілька підтипів залежно від особливостей міграції ^{137}Cs мікрокомпартаментами. Основними ґрунтами у нашій моделі є: дерново-слабопідзолисті та дерново-середньопідзолисті, лугові та дернові, торфово-болотні та торфовища. Математична формалізація моделі має вигляд системи лінійних диференціальних рівнянь першого порядку зі сталими коефіцієнтами:

$$\frac{dQ_i}{dt} = \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^N (a_{ji}Q_j + a_{ij}Q_i) + F_i(t) - \lambda Q_i, \quad (1)$$

де індекс j – номер компартмента, в який направлено потік ^{137}Cs ; індекс i – номер компартмента, з якого цей потік витікає; $F(t)_i$ – надходження ^{137}Cs у компартмент i ззовні за одиницю часу (Бк \cdot м $^{-2}$ т $^{-1}$); $Q_i(t)$ – вміст ^{137}Cs у компартменті з номером i (Бк/м 2); α_{ji} – ймовірність переходу ^{137}Cs із компартменту j в компартмент i за одиницю часу (т $^{-1}$); λ – швидкість напіврозпаду ^{137}Cs .

Комп'ютерну реалізацію моделі було виконано в математичному пакеті MAPLE, v. 10 (рис. 2).

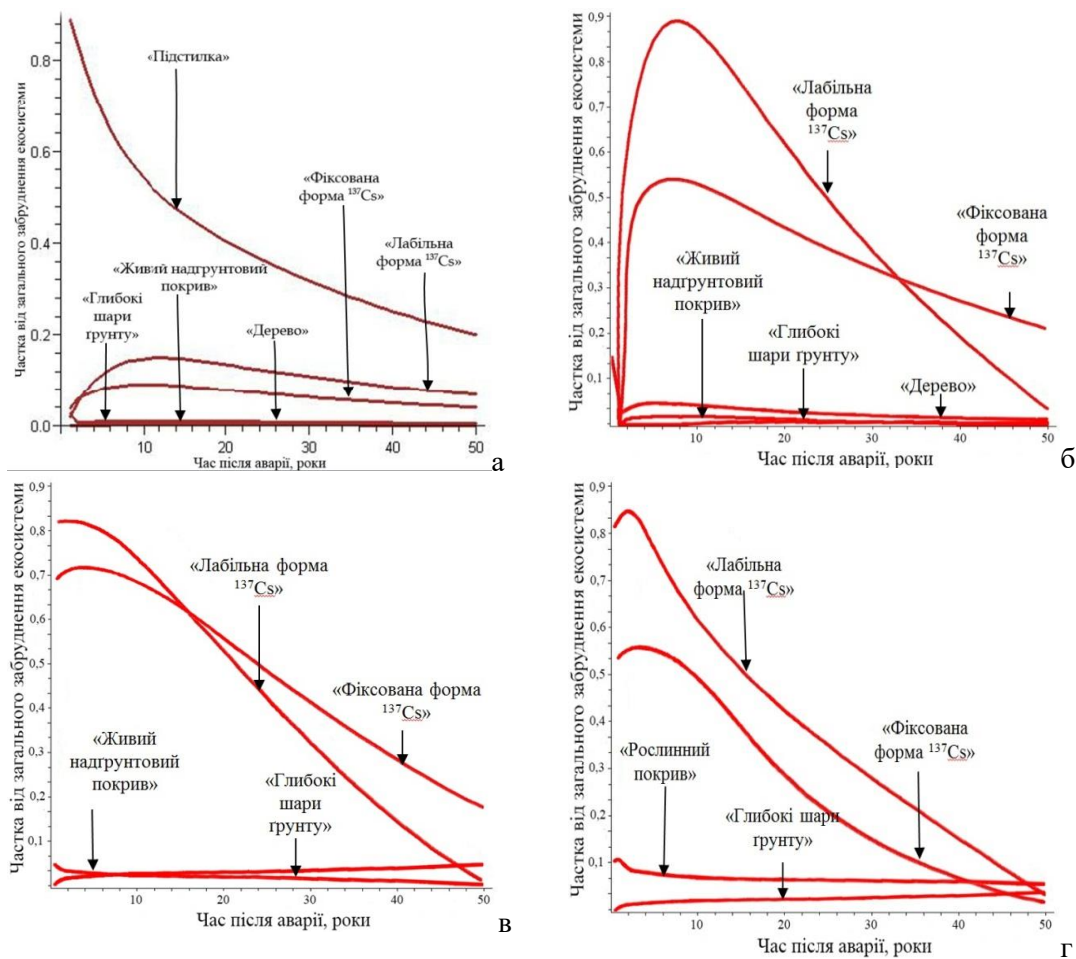


Рис. 2. Динаміка забруднення ^{137}Cs компартментів екосистем: а – лісової; б – садової; в – лукопасовищної; г – польової

Відповідно до результатів моделювання, найбільш радіологічно небезпечними з погляду винесення ^{137}Cs з продукцією є лісові масиви, перезволожені луки і пасовища, а також баштани на органогенних ґрунтах.

З використанням результатів моделювання, а також загальнодоступних джерел геоінформаційних даних нами було розроблено радіоекологічно-ландшафтну карту, що дає змогу адекватного оцінювання сучасної та прогнозованої радіоекологічної ситуації та оперативного розроблення системи заходів, спрямованих на поліпшення ситуації, вибору конкретних рішень щодо соціально- та економіко-екологічних проблем у регіоні та обґрунтування реалізації заходів у визначених на картах місцях (рис. 3). Вона передбачає врахування восьми карт, що дають змогу інтегрувати та узагальнити наявну інформацію з метою найбільшої точності результатів картування: гідрографічні умови; морфологія рельєфу території; інтенсивності акумуляції стоку; переважаючий ґрунтовий покрив; радіонуклідне забруднення території; тип наземного покриву території; рівень забруднення ландшафту; дозове навантаження на населення. Оцінювання рівня радіоекологічної критичності території проводиться з використанням інтегрального показника. Спосіб радіоекологічного районування агроландшафтів передбачає ландшафтний підхід з інтегруванням даних за принципом сітки (радіоекологічні чинники подані в комірках регулярної сітки залежно від обраного масштабу простору) [3]. Районування можливе на національному, регіональному та локальному рівнях.



Рис. 3. Інтегрована радіоекологічно-ландшафтна карта рівнів радіоекологічної критичності поблизу с. Розсохівське, Народицького р-ну, Житомирської обл.

Розроблена радіоекологічно-ландшафтна карта агроландшафтів дає змогу зменшити матеріальні затрати та затрати часу, розширює можливості прогнозувальної оцінки, а також дозволяє охоплювати більші території з урахуванням даних по реципієнтах впливу радіаційного забруднення (фактична доза внутрішнього опромінення населення).

Висновки

Встановлено, що для попереднього визначення радіологічно критичних територій, які потребують проведення комплексного радіоекологічного моніторингу, доцільно використовувати дозу внутрішнього опромінення населення як інтегральний показник радіологічного та соціально-економічного стану певного населеного пункту чи регіону. Беручи до уваги відносну незмінність соціально-економічної і радіологічної ситуації у регіоні Українського Полісся, зроблено припущення, що експоненційний закон розподілу дози внутрішнього опромінення місцевих мешканців буде з часом характерним для багатьох населених пунктів регіону.

Розроблено математичну модель винесення ^{137}Cs з агроландшафтів Українського Полісся у віддалений період після аварії на ЧАЕС, яка враховує міграцію радіонукліда у лісовій, польовій, лукопасовищній та садовій екосистемах. Встановлено, що найбільш радіологічно небезпечними з погляду винесення ^{137}Cs з продукцією є лісові масиви, перезволожені луки і пасовища, а також баштани на органогенних ґрунтах.

Розроблено радіоекологічно-ландшафтну карту, що дає змогу адекватного оцінювання сучасної та прогнозувальної радіоекологічної ситуації та оперативного розроблення системи заходів, спрямованих на поліпшення ситуації, вибору релевантних рішень щодо соціально- та економіко-екологічних проблем у регіоні та обґрунтування реалізації відповідних заходів у визначених на картах місцях. Радіоекологічно-ландшафтне районування можливе на національному, регіональному та локальному рівнях. Побудова відповідної карти частково вирішує проблему матеріальних затрат та часу, розширює можливості прогнозувальної оцінки радіоекологічної ситуації, а також охоплює більші території з урахуванням даних по реципієнтах впливу радіаційного забруднення шляхом врахування фактичної дози внутрішнього опромінення населення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Chobotko H. Complex analysis and mathematical modeling of the internal exposure dose of the Ukrainian Polissya rural population / H. Chobotko, L. Raichuk, A. Cherniavskyi, N. Liubashenko, I. McDonald // Nuclear Physics and Atomic Energy. — 2019. — № 20(4). — P. 397-404. DOI: <https://doi.org/10.15407/jnpae2019.04.397>
2. Landin V., Chobotko H., Raichuk L. The formation of current internal exposure doses of the Ukrainian Polissya rural population / V. Landin, H. Chobotko, L. Raichuk // Ukrainian Journal of Ecology. — 2020. — № 10(6). — P. 249-254. DOI: https://doi.org/10.15421/2020_290
3. Лев Т.Д. Басейново-ландшафтний принцип в оцінюванні ступеня радіоекологічної критичності території України / Т.Д. Лев, Б.С. Прістер, В.Д. Виноградська, О.Г. Тищенко, В.Н.

Райчук Людмила Анатоліївна — канд. с.-г. наук, ст. досл., завідувач відділу радіоекології і дистанційного зондування ландшафтів, Інститут агроєкології і природокористування НААН, Київ, e-mail: edelvice@ukr.net.

Кучма Тетяна Леонідівна — канд. с.-г. наук, с. н. с., старший науковий співробітник лабораторії аерокосмічного зондування агросфери, Інститут агроєкології і природокористування НААН, Київ, e-mail: tanyakuchma@yahoo.com.

Швиденко Ірина Костянтинівна — канд. с.-г. наук, завідувач лабораторії радіоекології аграрних і лісових екосистем, Інститут агроєкології і природокористування НААН, Київ, e-mail: favor09@ukr.net.

Гаврилюк Юлія Володимирівна — канд. с.-г. наук, доцент, завідувач кафедри садово-паркового господарства та екології, Луганський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Старобільськ, Луганська обл., e-mail: juliagavriluk2017@gmail.com.

Raichuk Liudmyla A. — Cand. Sc. (Agriculture), Senior Researcher, Head of Department of radioecology and remote sensing of landscapes, Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS of Ukraine, Kyiv, email : edelvice@ukr.net.

Kuchma Tetyana L. — Cand. Sc. (Agriculture), Senior Researcher, Senior Researcher of the Laboratory of Remote Sensing of the Agrosphere, Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS of Ukraine, Kyiv, e-mail: tanyakuchma@yahoo.com.

Shvydenko Iryna K. — Cand. Sc. (Agriculture), Head of the Laboratory of Radioecology of Agrarian and Forest Ecosystems, Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS of Ukraine, Kyiv, e-mail: favor09@ukr.net.

Havryliuk Yuliia V. — Cand. Sc. (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Horticulture and Ecology, Luhansk Taras Shevchenko National University, the city of Starobilsk, Luhansk region, e-mail: juliagavriluk2017@gmail.com.