

**Г. Чоботко<sup>1</sup>, Л. Райчук<sup>1,\*</sup>, А. Чернявський<sup>2</sup>, Н. Любашенко<sup>2</sup>, І. МакДональд<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Інститут агроекології та природокористування Національної академії аграрних наук України, Київ, Україна*

<sup>2</sup> *Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна*

<sup>3</sup> *Канзаський державний університет, Манхеттен, США*

\*Відповідальний автор: edelvice@ukr.net

### **КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДОЗИ ВНУТРІШНЬОГО ОПРОМІНЕННЯ СІЛЬСЬКОГО НАСЕЛЕННЯ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ**

Метою дослідження було визначення соціально-економічних та екологічних чинників, що впливають на формування дози внутрішнього опромінення сільського населення радіоактивно забрудненої території Українського Полісся. Було встановлено найважливіші екологічні та соціально-економічні чинники, що впливають на формування дози внутрішнього опромінення, які було проаналізовано за допомогою кластерного аналізу за методом середнього зв'язку та аналізу основних компонент. На основі результатів аналізу було створено математичну модель та відповідне програмне забезпечення для формування коректної оцінки дози внутрішнього опромінення населення на віддаленому етапі ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС.

*Ключові слова:* сільське населення Полісся, доза внутрішнього опромінення, <sup>137</sup>Cs, соціально-економічні та екологічні чинники, штучна нейронна мережа.

**Г. Чоботко<sup>1</sup>, Л. Райчук<sup>1,\*</sup>, А. Чернявський<sup>2</sup>, Н. Любашенко<sup>2</sup>, І. МакДональд<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Інститут агроекології та природокористування Національної академії аграрних наук України, Київ, Україна*

<sup>2</sup> *Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна*

<sup>3</sup> *Канзаський державний університет, Манхеттен, США*

\*Ответственный автор: edelvice@ukr.net

### **КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ І МАТЕМАТИЧЕСЬКЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДОЗИ ВНУТРІШНЬОГО ОБЛУЧЕННЯ СІЛЬСЬКОГО НАСЕЛЕННЯ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ**

Целью работы было определение социально-экономических и экологических факторов, влияющих на формирование дозы внутреннего облучения сельского населения радиоактивно загрязненной территории Украинского Полесья. Были установлены важнейшие экологические и социально-экономические факторы, влияющие на формирование дозы внутреннего облучения, которые были проанализированы с помощью кластерного анализа по методу средней связи и анализа основных компонент. На основе результатов анализа была создана математическая модель и соответствующее программное обеспечение для формирования корректной оценки дозы внутреннего облучения населения на отдаленном этапе ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

*Ключевые слова:* сельское население Полесья, доза внутреннего облучения, <sup>137</sup>Cs, социально-экономические и экологические факторы, искусственная нейронная сеть.

**H. Chobotko<sup>1</sup>, L. Raichuk<sup>1,\*</sup>, A. Cherniavskiy<sup>2</sup>, N. Liubashenko<sup>2</sup>, I. McDonald<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Institute of Agroecology and Nature Management, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup> *National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

<sup>3</sup> *Kansas State University, Manhattan, USA*

\*Corresponding author: edelvice@ukr.net

### **COMPLEX ANALYSIS AND MATHEMATICAL MODELING OF THE INTERNAL EXPOSURE DOSE OF THE UKRAINIAN POLISSYA RURAL POPULATION**

The aim of this research is to determine the socio-economic and environmental factors that influence the formation of the internal exposure dose of the rural population of the radioactively contaminated territory of the Ukrainian Polissya. The most important ecological and socio-economic factors influencing the internal exposure dose were established and applied to the Group Average clustering algorithm and the principal component analysis. Based on the analysis results, the authors developed a mathematical model and created the appropriate software to form a proper assessment of the internal exposure dose in the human body many years after the Chernobyl accident.

*Keywords:* rural Polissya population, internal exposure dose, <sup>137</sup>Cs, socio-economic and environmental factors, artificial neural network.

## REFERENCES

1. A.N. Marey, R.M. Barhudarov, N.Ya. Novikova. *Global Cesium-137 Fallout and Man* (Moskva: Atomizdat, 1974) 168 p. (Rus)
2. K.H. Harada et al. Radiation dose rates now and in the future for residents neighboring restricted areas of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. [PNAS 111\(10\) \(2014\) 914](#).
3. S. Nagataki et al. Measurements of individual radiation doses in residents living around the Fukushima nuclear power plant. [Radiation Research 180\(5\) \(2013\) 439](#).
4. M.I. Omelianets, I.M. Khomenko. Evaluation of the influence of radiological protection measures on internal irradiation levels in a population of radioactively contaminated territories of Ukraine. *Hihiyena Naselenykh Mists'* 61 (2013) 237. (Ukr)
5. E. Stepanova et al. Some aspects of the dissymmetric characteristics and features of the intracellular metabolism of children – residents of the contaminated territories. *Ahroekolohichnyy Zhurnal* 1 (2013) 22. (Ukr)
6. I. Labunska et al. Current radiological situation in areas of Ukraine contaminated by the Chornobyl accident: Part 1. Human dietary exposure to Caesium-137 and possible mitigation measures. [Environment International 117 \(2018\) 250](#).
7. I.A. Likhtarev et al. Assessing internal exposures and the efficacy of countermeasures from whole-body measurements. In: *The Radiological Consequences of the Chornobyl Accident*. Eds. A. Karaoglou et al. (ECSC-EC-EAEC, Brussels, Luxembourg: European Commission, 1996) p. 295.
8. I.A. Likhtarov et al. Basic principles and practices of integrated dosimetric passportization of the settlements in Ukraine. [Problems of Radiation Medicine and Radiobiology 20 \(2015\) 75](#).
9. V.S. Repin et al. Possibility of monitoring internal irradiation doses in the heavily contaminated Zone at the late stage of the Chornobyl accident. [Radiat. Prot. Dosimetry 79\(1-4\) \(1998\) 183](#).
10. B.A. Jelin et al. Quantifying annual internal effective <sup>137</sup>Cesium dose utilizing direct body-burden measurement and ecological dose modeling. [J. of Expo. Sci. and Environ. Epidemiol. 26\(6\) \(2016\) 546](#).
11. P. Jacob et al. Remediation strategies for rural territories contaminated by the Chornobyl accident. [J. of Environ. Radioactiv. 56\(1-2\) \(2001\) 51](#).
12. N.G. Vlasova. Doses assessment of population at the long-term period after the Chernobyl accident. [Radiatsionnaya Gygiena \(Radiation Hygiene\) 7\(3\) \(2014\) 9](#). (Rus)
13. N.G. Vlasova, Y.V. Visenberg, L.A. Chunikhin. Exposure doses assessment of population at the long-term period after the Chernobyl accident: international collaboration experience. [Radiatsionnaya Gygiena \(Radiation Hygiene\) 6\(1\) \(2013\) 45](#). (Rus)
14. J.-S. Chae et al. Estimation of annual effective dose from ingestion of <sup>40</sup>K and <sup>137</sup>Cs in foods frequently consumed in Korea. [J. Radioanal. Nucl. Chem. 310\(3\) \(2016\) 1069](#).
15. G. Chobotko et al. Forming of internal irradiation dose of the population of Ukrainian Polissya for the account of foodstuffs of forest origin. *Ahroekolohichnyy Zhurnal* 1 (2011) 37. (Ukr)
16. L.A. Chunikhin et al. Model for estimating the internal exposure dose of residents of rural settlements in the remote period of the Chernobyl accident. In: Proc. of the Intern. Sci. Conf. "Radiation and Ecosystems", Gomel, Belarus, 2008 (Gomel: RNIIP "Institute of Radiology", 2008) p. 179. (Rus)
17. I.A. Likhtarev et al. Internal exposure from the ingestion of foods contaminated by <sup>137</sup>Cs after the Chernobyl accident – Report 2. Ingestion doses of the rural population of Ukraine up to 12 years after the accident (1986 - 1997). [Health Physics 79\(4\) \(2000\) 341](#).
18. L. Romanchuk. Features of formation of the exposure of residents Narodychi area through food. *Naukovi Dopovidi Natsional'noho Universytetu Bioresursiv i Pryrodokorystuvannya Ukrayiny* 158 (2011) 134. (Ukr)
19. [Thirty Years after Chornobyl Catastrophe: Radiological and Health Effects: National Report of Ukraine \(Kyiv: National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy of Medical Sciences, 2016\) 177 p. \(Ukr\)](#)
20. I.A. Likhtarov et al. *General Dosimetry Certification and Results of HC Monitoring in the Settlements of Ukraine Suffered from Radioactive Contamination after the Chornobyl Accident. Generalized Data of 2005 - 2006* (Kyiv, Ukraine: Ministry of Health Protection of Ukraine, 2007) 63 p. (Ukr)
21. I.A. Likhtarov, L.M. Kovhan, V.V. Vasylenko. *General Dosimetry Certification and Results of HC Monitoring in the Settlements of Ukraine Suffered from Radioactive Contamination after the Chornobyl Accident. Generalized Data of 2012* (Kyiv, Ukraine: Ministry of Health Protection of Ukraine, 2013) 33 p. (Ukr)
22. I.A. Likhtarov et al. *General Dosimetry Certification and Results of HC Monitoring in the Settlements of Ukraine Suffered from Radioactive Contamination after the Chornobyl Accident. Generalized Data of 2008* (Kyiv, Ukraine: Ministry of Health Protection of Ukraine, 2009) 58 p. (Ukr)
23. [Recommendations on Measurement with Whole Body Counters During the Dosimetric Passportization of Residential Areas of Ukraine \(Kyiv: SCRMAMS of Ukraine, 1996\) 73 p. \(Rus\)](#)
24. G. Chobotko et al. Assessment of formation of the dose of internal irradiation of population at the remote stage of overcoming of aftereffects of Chornobyl disaster. *Agrovisnyk* 7 (2015) 54. (Ukr)
25. L. Raychuk. Regional and seasonal features of the formation of internal irradiation dose of population. [Naukovi Dopovidi Natsional'noho Universytetu Bioresursiv i Pryrodokorystuvannya Ukrayiny](#) 3(32) (2012) 1. (Ukr)
26. L. Raychuk. The elements of the technique for evaluating the population internal irradiation doses formation to the remote stage of consequences of the Chornobyl NPP accident overcoming. [Naukovyy Visnyk of National Forestry University of Ukraine \(Scientific Bulletin of UNFU\) 24\(7\) \(2014\) 150](#). (Ukr)

27. A.M. Skryabin. Chernobyl today: the social aspects of radiation protection. In: Proc. of the Third Congress on Radiation Research, Moscow, Russian Federation, October 14 - 17, 1997 (Moskva, 1997) p. 300. (Rus)
28. A.M. Skryabin. Dosimetric control: techniques and methods. In: Proc. of the Intern. Symp. "Actual Problems of Dosimetry", Minsk, Belarus, October 28 - 30, 1997 (Minsk, 1997) p. 159. (Rus)
29. I.M. Khomenko, S.V. Polishchuk. Evaluation of the influence of locally produced foodstuffs consumption on the formation of internal irradiation dose in the remote period after the Chornobyl catastrophe. *Environ. & Heal.* 2 (2014) 57.
30. N.G. Vlasova, E.A. Vlasova. Formation of the internal radiation dose of rural settlement inhabitants. In: Proc. of the Intern. Sci. Conf. "Radiation and Ecosystems", Gomel, Belarus, 2008 (Gomel: RNIP "Institute of Radiology", 2008) p. 172. (Rus)
31. N.G. Vlasova, V.V. Stavrov. Role of a family in formation of internal dose at inhabitants of rural society. [Meditinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost' \(Medical Radiology and Radiation Safety\) 50\(5\) \(2005\) 22.](#) (Rus)
32. N.G. Vlasova, Yu.V. Visenberg. Rural settlements: social and ecological factors influencing dose formation. *Ecol. Bull.* 2(3) (2007) 57.
33. A.M. Skryabin, R. Hille. *Evaluation of the Population Dose in Relation to Social and Geographical Factors after the Chernobyl Accident* (Julich, Germany: Forschungszentrum, 1998) 75 p.

Надійшла 02.04.2019

Received 02.04.2019