

Н. А. Поморцева^{1,*}, Д. І. Гудков¹, Н. К. Родіонова², О. Є. Каглян¹

¹ Інститут гідробіології НАН України, Київ, Україна

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

*Відповідальний автор: natapomorceva@gmail.com

НАСЛІДКИ ТРИВАЛОГО ВПЛИВУ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА КРОВОТВОРНУ СИСТЕМУ РИБ У ВОДОЙМАХ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

Проаналізовано гематологічні показники краснопірки *Scardinius erythrophthalmus*, плітки звичайної *Rutilus rutilus*, окуня *Perca fluviatilis* та карася сріблястого *Carassius gibelio* з найбільш забруднених радіонуклідами водойм Чорнобильської зони відчуження. Наведено дані щодо змін абсолютної кількості та відносного складу лейкоцитів, а також морфологічних порушень еритроцитів у периферичній крові риб у градієнті потужності поглиненої дози 5,1 - 84,5 мГр/год. У контрольних водоймах дози опромінення не перевищували 0,07 мГр/год. За потужності поглиненої дози до 30 - 40 мГр/год у крові риб зареєстровано здебільшого реакційні зміни компенсаторного характеру з підвищенням вмісту лейкоцитів за рахунок лімфоцитарної і гранулоцитарної фракцій. За дії більш високих доз відмічено погіршення стану кровотворення зі зниженням вмісту лейкоцитів і значними змінами в лейкограмах. Встановлено, що зі збільшенням потужності поглиненої дози зростає кількість морфологічних порушень та патологічних змін еритроцитів.

Ключові слова: Чорнобильська зона відчуження, радіонуклідне забруднення, риби, потужність поглиненої дози, *Scardinius erythrophthalmus*, *Rutilus rutilus*, *Perca fluviatilis*, *Carassius gibelio*, кровотворна система, лейкоцитарна формула, морфологічні порушення еритроцитів.

N. A. Pomortseva^{1,*}, D. I. Gudkov¹, N. K. Rodionova², O. Ye. Kaglyan¹

¹ Institute of Hydrobiology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: natapomorceva@gmail.com

CONSEQUENCES OF LONG-TERM EXPOSURE TO IONIZING RADIATION ON THE HEMATOPOIETIC SYSTEM OF FISH IN THE WATER BODIES OF THE CHORNOBYL EXCLUSION ZONE

The hematological parameters of the common rudd *Scardinius erythrophthalmus*, roach *Rutilus rutilus*, perch *Perca fluviatilis* and Prussian carp *Carassius gibelio* from the most radionuclide-contaminated water bodies of the Chornobyl Exclusion Zone were analyzed. Data on changes in the absolute number and relative composition of leukocytes, as well as morphological disorders of erythrocytes in the peripheral blood of fish in the absorbed dose rate gradient of 5.1 - 84.5 $\mu\text{Gy/h}$ are presented. In control water bodies, radiation doses did not exceed 0.07 $\mu\text{Gy/h}$. At current absorbed dose rates of up to 30 - 40 $\mu\text{Gy/h}$, mostly reactive compensatory changes were registered in the blood of fish with an increase in the content of leukocytes due to the lymphocytic and granulocytic fractions. At higher doses, deterioration of the state of hematopoiesis with a decrease in the content of leukocytes and significant changes in leukograms were noted. It was established that with an increase in the absorbed dose rate, the number of morphological disorders and pathological changes in erythrocytes increases.

Keywords: Chornobyl Exclusion Zone, radionuclide contamination, fish, absorbed dose rate, *Scardinius erythrophthalmus*, *Rutilus rutilus*, *Perca fluviatilis*, *Carassius gibelio*, hematopoietic system, leukocyte formula, morphological disorders of erythrocytes.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. А.Н. Марей. Санитарная охрана водоемов от загрязнений радиоактивными веществами (Москва: Атомиздат, 1976) 224 с. / A.N. Marei. Sanitary Protection of Water Bodies from Radioactive Contamination (Moskva: Atomizdat, 1976) 224 p. (Rus)
2. И.А. Шеханова. Радиозкология рыб (Москва: Высш. школа, 1983) 208 с. / I.A. Shekhanova. Radioecology of Fish (Moskva: Vysshaya Shkola, 1983) 208 p. (Rus)
3. Г.С. Шлейфер, И.А. Шеханова. Влияние ионизирующей радиации на некоторые факторы иммунитета рыб. В кн.: Радиозкология животных: Материалы I Всесоюзной конференции, Москва, 24 - 27 января 1977 (Москва: Наука, 1977) с. 93. / G.S. Shleifer, I.A. Shekhanova. Influence of ionizing radiation on some factors of fish immunity. In: Radioecology of Animals: Proceedings of the First All-Union Conference, Moskva, January 24 - 27, 1977 (Moskva: Nauka; 1977) p. 93. (Rus)

4. D. Gudkov et al. Aquatic plants and animals in the Chernobyl Exclusion Zone: Effects of long-term radiation exposure on different levels of biological organization. In: V. Korogodina et al. (Eds.) *Genetics, Evolution and Radiation* (Cham: Springer, 2017) p. 287.
5. A. Lerebours et al. Impact of environmental radiation on the health and reproductive status of fish from Chernobyl. *Environ. Sci. Technol.* 52 (2018) 9442.
6. D.I. Gudkov et al. The main radionuclides and dose formation in fish of the Chernobyl NPP exclusion zone. *Radiat. Biol. Radioecol.* 48 (2008) 48.
7. D.I. Gudkov et al. Dynamics of the content and distribution of the main dose forming radionuclides in fishes of the exclusion zone of the Chernobyl NPS. *Hydrobiol. J.* 44 (2008) 87.
8. O.Ye. Kaglyan et al. Strontium-90 in fish from the lakes of the Chernobyl Exclusion Zone. *Radioprotection* 44 (2009) 945.
9. А.Е. Каглян и др. Радионуклиды в аборигенных видах рыб Чернобыльской зоны отчуждения. *Ядерная физика та енергетика* 13 (2012) 306. / O.Ye. Kaglyan et al. Radionuclides in the indigenous fish species of the Chernobyl exclusion zone. *Nucl. Phys. At. Energy* 13 (2012) 306. (Rus)
10. D.I. Gudkov et al. The distribution of the radionuclides in the main components of lake ecosystems within the Chernobyl NPP exclusion zone. *Radiat. Biol. Radioecol.* 45 (2005) 271.
11. D.I. Gudkov et al. ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, and ^{241}Am in the components of aquatic ecosystems of the Krasnenskaya floodplain of the Pripyat river. *Hydrobiol. J.* 41 (2005) 75.
12. O.Ye. Kaglyan et al. Changes in radiation exposure rate of fish of the cooling pond of the Chornobyl NPS and Lake Azbuchyn after water level lowering. *Hydrobiol. J.* 59 (2023) 96.
13. A.Y. Kaglyan et al. Fish of the Chernobyl exclusion zone: Modern levels of radionuclide contamination and radiation doses. *Hydrobiol. J.* 55 (2019) 81.
14. О.Є. Каглян та ін. Потужність поглиненої дози зовнішнього опромінення представників іхтіофауни озер у Чорнобильській зоні відчуження. *Ядерна фізика та енергетика* 25 (2024) 141. / A.Ye. Kaglyan et al. The absorbed dose rate of external exposure to representatives of ichthyofauna of lakes in the Chornobyl Exclusion Zone. *Nucl. Phys. At. Energy* 25 (2024) 141. (Ukr)
15. V.V. Belyaev et al. Reconstruction of the absorbed dose of ionizing radiation in fish of the Glyboke Lake over the early phase of the Chernobyl accident. *Hydrobiol. J.* 57 (2021) 86.
16. V.V. Belyaev et al. Radiation dose reconstruction for higher aquatic plants and fish in Glyboke Lake during the early phase of the Chernobyl accident. *J. Environ. Radioact.* 263 (2023) 107169.
17. I.I. Kryshev. Radioactive contamination of aquatic ecosystems following the Chernobyl accident. *J. Environ. Radioact.* 27 (1995) 207.
18. М.І. Кузьменко та ін. *Техногенні радіонукліди у прісноводних екосистемах* (Київ: Наук. думка, 2010) 262 с. / M.I. Kuzmenko et al. *Technogenic Radionuclides in Freshwater Ecosystems* (Kyiv: Naukova Dumka, 2010) 262 p. (Ukr)
19. О.Є. Каглян та ін. Динаміка питомої активності ^{90}Sr і ^{137}Cs у представників іхтіофауни водойм Чорнобильської зони відчуження. *Ядерна фізика та енергетика* 22 (2021) 62. / A.Ye. Kaglyan et al. Dynamics of specific activity of ^{90}Sr and ^{137}Cs in representatives of ichthyofauna of Chornobyl Exclusion Zone. *Nucl. Phys. At. Energy* 22 (2021) 62. (Ukr)
20. И.А. Шеханова. Радиоэкологические аспекты защиты поверхностных вод при мирном использовании ядерной энергии. В кн.: *Проблемы и задачи радиоэкологии животных*. Отв. ред. А.И. Ильенко (Москва: Наука, 1980) с. 135. / I.A. Shekhanova. Radioecological aspects of surface water protection in the peaceful use of nuclear energy. In: A.I. Ilyenko (Ed.). *Problems and Tasks of Animal Radioecology* (Moskva: Nauka, 1980) p. 135. (Rus)
21. V.R. Mikryakov et al. Comparative characteristics of leucocytes compositions in the crucian carp *Carassius carassius* (Cyprinidae) from the waterbodies of the Chernobyl exclusion zone and from the Rybinsk reservoir. *J. Ichthyol.* 53 (2013) 753.
22. Е.А. Пряхин и др. Оценка уровня патологии эритроцитов в периферической крови у плотвы (*Rutilus rutilus* L.) из водоемов с разным уровнем радиоактивного загрязнения. Радиационная биология. Радиозэкология. 52 (2012) 616. / E.A. Pryakhin et al. Assessment of erythrocyte pathology level in peripheral blood of roach (*Rutilus rutilus* L.) from water bodies with different levels of radioactive contamination. *Radiat. Biol. Radioecol.* 52 (2012) 616. (Rus)
23. K. Al-Sabti, C.D. Metcalfe. Fish micronuclei for assessing genotoxicity in water. *Mutat. Res./Genet. Toxicol.* 343 (1995) 121.
24. S. Anbumani, M.N. Mohankumar. Gamma radiation induced micronuclei and erythrocyte cellular abnormalities in the fish *Catla catla*. *Aquat. Toxicol.* 122-123 (2012) 125.
25. N.A. Pomortseva, D.I. Gudkov. Effect of additional acute irradiation on cytomorphological abnormalities of erythrocytes of the Prussian carp (*Carassius gibelio* Bloch) from water body contaminated with radionuclides. *Probl. Radiat. Med. Radiobiol.* 24 (2019) 270.
26. T.G. Sazykina, A.I. Kryshev. EPIC database on the effects of chronic radiation in fish: Russian/FSU data. *J. Environ. Radioact.* 68(1) (2003) 65.

27. K. Beaugelin-Seiller, C. Della-Vedova, J. Garnier-Laplace. Transforming acute ecotoxicity data into chronic data: A statistical method to better inform the radiological risk for nonhuman species. *Environ. Sci. Technol.* 54(19) (2020) 12376.
28. K. Beaugelin-Seiller, C. Della-Vedova, J. Garnier-Laplace. Is non-human species radiosensitivity in the lab a good indicator of that in the field? Making the comparison more robust. *J. Environ. Radioact.* 211 (2020) 105870.
29. A.A. Yavnyuk et al. Fluctuating asymmetry of zebra mussel (*Dreissena polymorpha* Pall.) and floating pondweed (*Potamogeton natans* L.) in water bodies within the Chernobyl accident Exclusion Zone. *Radioprotection* 44(5) (2009) 475.
30. ERICA Assessment Tool 1.0. The integrated approach seeks to combine exposure/dose/effect assessment with risk characterization and managerial considerations.
31. *Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод.* Під ред. В.Д. Романенка. НАН України. Ін-т гідробіології (Київ: ЛОГОС, 2006) 408 с. / V.D. Romanenko (Ed.). *Methods of Hydroecological Studies of Surface Waters*. National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Hydrobiology (Kyiv: LOGOS, 2006) 408 p. (Ukr)
32. Л.Д. Житенева, Т.Г. Полтавцева, О.А. Рудницкая. *Атлас нормальных и патологически измененных клеток крови рыб* (Ростов-на-Дону: Ростовское книжное издательство, 1989) 112 с. / L.D. Zhiteneva, T.G. Poltavtseva, O.A. Rudnitskaya. *Atlas of Normal and Pathologically Altered Blood Cells of Fishes* (Rostov-on-Don: Rostov Book Publishing, 1989) 112 p. (Rus)
33. О.Н. Давыдов, Ю.Д. Темниханов, Л.Я. Куровская. *Патология крови рыб* (Київ: ИНКОС, 2006) 206 с. / O.N. Davydov, Y.D. Temnikhanov, L.Ya. Kurovskaya. *Fish Blood Pathology* (Kyiv: INCOS, 2006) 206 p. (Rus)
34. В.В. Беляев и др. Динамика формирования дозы облучения пресноводных рыб после однократного поступления ^{90}Sr и ^{137}Cs в водоем. *Гидробиол. журн.* 50(5) (2014) 111. / V.V. Belyaev et al. Dynamics of irradiation dose formation in freshwater fish after ^{90}Sr and ^{137}Cs single entry in a reservoir. *Hydrobiol. J.* 50(5) (2014) 111. (Rus)
35. D.I. Gudkov et al. Peculiarities of radionuclide distribution in the main components of aquatic ecosystems within the Chernobyl accident exclusion zone. In: G.N. Nairne (Ed.). *Aquatic Ecosystems Research Trend* (New York: Nova Science Publishers, Inc., 2012) p. 383.
36. D.I. Gudkov et al. Radiation-induced cytogenetic and hematologic effects on aquatic biota within the Chernobyl exclusion zone. *J. Environ. Radioact.* 151 (2016) 438.
37. D.J. Weiss, K.J. Wardrop (Eds.). *Schalm's Veterinary Hematology*. 6th ed. (Oxford: Blackwell Publishing Ltd., 2010) 1232 p.
38. G. Liu et al. Modulation of neutrophil development and homeostasis. *Curr. Mol. Med.* 13 (2013) 1270.
39. N. Strydom, S.M. Rankin. Regulation of circulating neutrophil numbers under homeostasis and in disease. *J. Innate Immun.* 5(4) (2013) 304.
40. О.П. Васильев, А.И. Шерстнев. Влияние малых концентраций стронция-90 на кроветворение у рыб. Труды АтлантНИРО 21 (1969) 192. / O.P. Vasilyev, A.I. Sherstnev. Effect of low concentrations of strontium-90 on hematopoiesis in fish. *Trudy AtlantNIRO* 21 (1969) 192. (Rus)
41. М. Инграм. Гематологические основы для оценки степени лучевого поражения. Малые дозы, хроническое облучение и отдаленные эффекты. Руководство по радиационной гематологии. Совместное издание Международного агентства по атомной энергии и Всемирной организации Здравоохранения (Москва: Медицина, 1974) 221 с. / M. Ingram. Hematological principles for assessing the degree of radiation injury: Low doses, chronic exposure, and delayed effects. Manual of Radiation Hematology. Joint publication of the International Atomic Energy Agency and the World Health Organization (Moskva: Medicina; 1974) 221 p. (Rus)
42. С.А. Киллмэн. Влияние радиации на систему клеточного обновления миелоидного ряда. В кн.: *Руководство по радиационной гематологии* (Москва: Медгиз, 1974) с. 77. / S.A. Killman. Effect of radiation on the myeloid cell renewal system. In: *Manual of Radiation Hematology* (Moskva: Medgiz, 1974) p. 77. (Rus)
43. Е.А. Жербин, А.Б. Чухловин. *Радиационная гематология* (Москва: Медицина, 1989) 176 с. / E.A. Zherbin, A.B. Chukhlov. *Radiation Hematology* (Moskva: Meditsina, 1989) 176 p. (Rus)
44. И.К. Петрович. Изменение картины крови у животных в отдаленные сроки после введения в организм радиоактивных веществ. В кн.: *Влияние радиоактивного стронция на живой организм* (Москва, Медгиз, 1961) 104 с. / I.K. Petrovich. Changes in the blood picture of animals in the long-term period after the introduction of radioactive substances into the organism. In: *Influence of Radioactive Strontium on the Living Organism* (Moskva: Medgiz, 1961) 104 p. (Rus)
45. Л.Б. Пинчук, Я.И. Серкиз, Н.К. Родионова. Состояние костномозгового кроветворения у крыс. Радиационная биология. Радиозэкология 31 (1991) 635. / L.B. Pinchuk, Ya.I. Serkiz, N.K. Rodionova. State of bone marrow hematopoiesis in rats. *Radiat. Biol. Radioecol.* 31 (1991) 635. (Rus)
46. Н.Т. Иванова *Атлас клеток крови рыб* (Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1983) 150 с. / N.T. Ivanova. *Atlas of Fish Blood Cells* (Moskva: Legkaya i Pishchevaya Promyshlennost, 1983) 150 p. (Rus)
47. А.В. Илюхин и др. *Цитокинетика и морфология кроветворения при хроническом облучении* (Москва: Медицина, 1982) 136 с. / A.V. Ilyukhin et al. *Cytokinetics and Morphology of Hematopoiesis Under Chronic Irradiation* (Moskva: Meditsina, 1982) 136 p. (Rus)

48. Л.Х. Гаркави, Е.Б. Квакина, М.А. Уколова. *Адаптационные реакции и резистентность организма* (Ростов-на-Дону: Ростовское книжное издательство, 1977) 224 с. / L.Kh. Garkavi, E.B. Kvakina, M.A. Ukolova. *Adaptive Reactions and Organism Resistance* (Rostov-on-Don: Rostov Book Publishing, 1977) 224 p. (Rus)
49. А.І. Липська та ін. Патологічні та компенсаторні реакції в системі крові дрібних гризунів за хронічного опромінення у малих дозах іонізуючої радіації. *Ядерна фізика та енергетика* 25(4) (2024) 379. / A.I. Lypska et al. Pathological and compensatory reactions in the blood system of small rodents exposed to chronic low dose ionizing radiation. *Nucl. Phys. At. Energy* 25(4) (2024) 379. (Ukr)
50. N. Riabchenko et al. Transformation of the Chernobyl NPP cooling pond: radioecological situation and its impact on the blood system of small rodents. *Int. J. Radiat. Biol.* (2025) 1.
51. Е.П. Кронкайт, Т.Дж. Хали. Клинические аспекты острой радиационной гематологии. В кн.: *Руководство по радиационной гематологии* (Москва: Медгиз, 1974) с. 144. / E.P. Kronkait, T.J. Khali. Clinical aspects of acute radiation hematology. In: *Manual of Radiation Hematology* (Moskva: Medgiz, 1974) p. 144. (Rus)
52. D.I. Gudkov et al. Radionuclides in components of aquatic ecosystems of the Chernobyl accident restriction zone. In: E.B. Burlakova, V.I. Naidich (Eds.) *20 Years After the Chernobyl Accident: Past, Present and Future* (New York: Nova Science Publishers, Inc., 2007) 358 p.

Надійшла / Received 23.07.2025