

**О. В. Кашпарова^{1,2,*}, Х.-К. Теєн², С. Є. Левчук¹, В. П. Процак¹, К. Д. Корепанова^{1,3},
Б. Салбу², І. І. Ібатуллин¹, В. О. Кашпаров^{1,2}**

¹ Український науково-дослідний інститут сільськогосподарської радіології

Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

² Центр радіоактивності навколишнього середовища, Норвезький університет природничих наук, Ос, Норвегія

³ Державне спеціалізоване підприємство «Екоцентр», Чорнобиль, Україна

*Відповідальний автор: elena.kashparova@gmail.com

ДИНАМІКА НАДХОДЖЕННЯ ¹³⁷Cs З ВОДИ В ОРГАНІЗМ СРІБНОГО КАРАСЯ (CARASSIUS GIBELIO)

У серії акваріумних експериментів були отримані швидкості надходження ¹³⁷Cs в організм срібного карася (*Carassius gibelio*) з води з вмістом калію 2 мг·л⁻¹ при температурі води $T = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ без годування ($k_w = 0,045 \pm 0,001$ доби⁻¹), при $T = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ з годуванням ($0,046 \pm 0,002$ доби⁻¹) і при $T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ з годуванням ($0,062 \pm 0,006$ доби⁻¹). Отримані результати показали, що швидкості надходження ¹³⁷Cs в рибу з води за відсутності і при годуванні достовірно не відрізнялися при різній температурі води ($T = 5 - 22\text{ }^{\circ}\text{C}$) і були на два порядки величин менше порівняно зі швидкістю надходження ¹³⁷Cs в організм срібного карася з радіоактивно забрудненим кормом у зоні відчуження ЧАЕС ($11,4 \pm 2,6$ доби⁻¹). Це дозволяє при забезпеченні харчування риби чистими кормами навіть у найбільш радіоактивно забруднених водоймах зони відчуження отримувати продукцію з вмістом ¹³⁷Cs нижче допустимого рівня (150 Бк·кг⁻¹). При зменшенні вмісту калію у воді з 2 до 0,2 мг·л⁻¹ без годування риби при температурі $5 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ швидкість надходження ¹³⁷Cs в рибу з води збільшувалася в 1,6 раза, а при збільшенні вмісту калію у воді в 10 разів до 20 мг·л⁻¹ незначно зменшувалася в 1,2 раза. Питома активність ¹³⁷Cs у м'язовій тканині срібного карася при температурі води нижче $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ при відсутності годування буде на два порядки величин менше порівняно з випадком радіоактивного забруднення води в літній час, у період інтенсивного годування риби при $T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це вкрай важливо для коректного прогнозування забруднення риби в осінньо-зимово-весняний період при температурі води менше $8 - 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, коли деякі риби перестають харчуватися.

Ключові слова: ¹³⁷Cs, радіоекологія, *Carassius gibelio*, Чорнобильська аварія, водні екосистеми, радіоактивне забруднення, допустимі рівні, коефіцієнти накопичення, швидкість надходження радіонукліда, швидкість виведення радіонукліда.

**О. В. Кашпарова^{1,2,*}, Г.-Х. Теєн², С. Е. Левчук¹, В. П. Процак¹, К. Д. Корепанова^{1,3},
Б. Салбу², І. І. Ібатуллин¹, В. А. Кашпаров^{1,2}**

¹ Украинский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии

Национального университета биоресурсов и природопользования Украины, Киев, Украина

² Центр радиоактивности окружающей среды, Норвежский университет естественных наук, Ос, Норвегия

³ Государственное специализированное предприятие «Экоцентр», Чернобыль, Украина

*Ответственный автор: elena.kashparova@gmail.com

ДИНАМІКА ПОСТУПЛЕННЯ ¹³⁷Cs ИЗ ВОДЫ В ОРГАНІЗМ СЕРЕБРЯНОГО КАРАСЯ (CARASSIUS GIBELIO)

В серии аквариумных экспериментов были получены скорости поступления ¹³⁷Cs в организм серебряного карася (*Carassius gibelio*) из воды с содержанием калия 2 мг·л⁻¹ при температуре $T = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ без кормления ($k_w = 0,045 \pm 0,001$ сут⁻¹), $T = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ с кормлением ($0,046 \pm 0,002$ сут⁻¹) и $T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ с кормлением ($0,062 \pm 0,006$ сут⁻¹). Полученные результаты показали, что скорости поступления ¹³⁷Cs в рыбу из воды без кормления и при кормлении «чистым» кормом достоверно не отличались при разной температуре воды ($T = 5 - 22\text{ }^{\circ}\text{C}$) и были на два порядка величины меньше по сравнению со скоростью поступления ¹³⁷Cs в организм серебряного карася с радиоактивно загрязненным кормом в зоне отчуждения ЧАЭС ($11,4 \pm 2,6$ сут⁻¹). Это позволяет при обеспечении питания рыбы чистыми кормами даже в наиболее радиоактивно загрязненных водоемах зоны отчуждения получать продукцию с содержанием ¹³⁷Cs ниже допустимого уровня (150 Бк·кг⁻¹). При уменьшении содержания калия в воде с 2 до 0,2 мг·л⁻¹ без кормления рыбы при температуре $5 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ скорость поступления ¹³⁷Cs в рыбу из воды увеличивалась в 1,6 раза, а при увеличении содержания калия в воде в 10 раз до 20 мг·л⁻¹ незначительно уменьшалась в 1,2 раза. Удельная активность ¹³⁷Cs в мышечной ткани серебряного карася при температуре воды ниже $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ без кормления будет на два порядка величины меньше по сравнению со случаем радиоактивного загрязнения воды в летнее время в период интенсивного кормления рыбы при $T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это крайне важно для корректного прогнозирования загрязнения рыбы в осенне-зимне-весенний период при температуре воды менее $8 - 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, когда некоторые рыбы перестают питаться.

Ключевые слова: ^{137}Cs , радиоэкология, *Carassius gibelio*, Чернобыльская авария, водные экосистемы, радиоактивное загрязнение, допустимые уровни, коэффициент накопления, скорость поступления радионуклида, скорость выведения радионуклида.

**O. V. Kashparova^{1,2,*}, H.-C. Teien², S. E. Levchuk¹, V. P. Protsak¹, K. D. Korepanova^{1,3},
B. Salbu², I. I. Ibatullin¹, V. O. Kashparov^{1,2}**

¹ *Ukrainian Institute of Agricultural Radiology, National University of Life and Environment Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

² *Center for Environmental Radioactivity, Norwegian University of Life Sciences, Ås, Norway*

³ *State Specialized Enterprise "Ecocenter", Chernobyl, Ukraine*

*Corresponding author: elena.kashparova@gmail.com

DYNAMICS OF ^{137}Cs UPTAKE FROM WATER TO PRUSSIAN CARP (*CARASSIUS GIBELIO*)

The rate constants of ^{137}Cs uptake in Prussian carp (*Carassius gibelio*) from the water with a potassium content of $2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ at $T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ without feeding ($k_w = 0.045 \pm 0.001 \text{ day}^{-1}$), at $T = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ with «clean» feeding ($0.046 \pm 0.002 \text{ day}^{-1}$) and at $T = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ with «clean» feeding ($0.062 \pm 0.006 \text{ day}^{-1}$) were obtained in a series of aquarium experiments. The results showed that rates of ^{137}Cs uptake in fish from water without and with feeding did not significantly differ at different temperatures of water ($T = 5 - 22 \text{ }^\circ\text{C}$) and were two orders of magnitude lower than the rate constants of ^{137}Cs uptake in Prussian carp with feed in Chernobyl exclusion zone ($11.4 \pm 2.6 \text{ day}^{-1}$). This makes it possible to obtain products with ^{137}Cs content below the permissible level ($150 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) while providing fish with clean feeds even in the most radioactively contaminated reservoirs of the exclusion zone. A decrease in the potassium content in water from 2 to $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (no feeding, $T = 5 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) resulted in an increase in the rate of ^{137}Cs uptake into the fish from the water by 1.6 times. An increase in the potassium content in water by 10 times up to $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ resulted just in a decrease of 20 % in the rate. The levels of ^{137}Cs activity concentration in fish in contaminated water at temperatures below $10 \text{ }^\circ\text{C}$ will be two orders of magnitude lower compared to radioactive contamination of water in the summer season ($T = 22 \text{ }^\circ\text{C}$). This is extremely important for the correct prediction of fish contamination in the autumn-winter-spring period at a water temperature of less than $10 \text{ }^\circ\text{C}$ when some fish stop feeding.

Keywords: ^{137}Cs , radioecology, *Carassius gibelio*, the Chernobyl accident, water ecosystems, radioactive contamination, permissible levels, concentration factor, rate constant of uptake, rate constant of excretion.

REFERENCES

1. A.I. Kryshev. Model reconstruction of ^{90}Sr concentrations in fish from 16 Ural lakes contaminated by the Kyshtym accident of 1957. *Journal of Environmental Radioactivity* 64 (2003) 67.
2. I. Outola, M. Rask. Effect of liming on the behaviour of ^{90}Sr and ^{137}Cs in a lake ecosystem. *Journal of Environmental Radioactivity* 102(8) (2011) 719.
3. J.E. Pinder et al. Cesium accumulation by fish following acute input to lakes: a comparison of experimental and Chernobyl-impacted systems. *Journal of Environmental Radioactivity* 100 (2009) 456.
4. J.T. Smith, N.A. Beresford. *Chernobyl: Catastrophe and Consequences* (UK, Praxis Publishing Ltd, Chichester, 2005) 309 p.
5. V. Kashparov et al. Spatial datasets of radionuclide contamination in the Ukrainian Chernobyl Exclusion Zone. *Earth System Science Data (ESSD)* 10 (2018) 339.
6. V. Kashparov et al. Environmental behaviour of radioactive particles from Chernobyl. *Journal of Environmental Radioactivity* 208-209 (2019) 106025.
7. B. Salbu et al. Challenges associated with the behaviour of radioactive particles in the environment. *Journal of Environmental Radioactivity* 186 (2018) 101.
8. T. Wada et al. Radiological impact of the nuclear power plant accident on freshwater fish in Fukushima: An overview of monitoring results. *Journal of Environmental Radioactivity* 151 (2016) 144.
9. T. Wada et al. Strong contrast of cesium radioactivity between marine and freshwater fish in Fukushima. *Journal of Environmental Radioactivity* 204 (2019) 132.
10. *Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation. Twenty Years of Experience. Report of the Chernobyl Forum Expert Group "Environment"* (Vienna, IAEA, 2006) 166 p.
11. Yu.V. Khomutinin, V.A. Kashparov, A.V. Kuzmenko. Dependence of ^{137}Cs and ^{90}Sr accumulation rates by fish on the potassium and calcium content in freshwater water. *Radiation Biology. Radioecology* 51(3) (2011) 374. (Rus)
12. M. Balonov et al. Harmonization of standards for permissible radionuclide activity concentrations in foodstuffs in the long term after the Chernobyl accident. *Journal of Radiological Protection* 38 (2018) 854.
13. N. Fuller et al. Does Chernobyl-derived radiation impact the developmental stability of *Asellus aquaticus* 30 years on? *Sci. Total Environ.* 576 (2017) 242.

14. I.I. Kryshev, T.G. Sazykina. Assessment of radiation doses to aquatic organisms in the Chernobyl contaminated area. *Journal of Environmental Radioactivity* 28 (1995) 91.
15. A.I. Kryshev, T.G. Sazykina, Comparative analysis of doses to aquatic biota in water bodies impacted by radioactive contamination. *Journal of Environmental Radioactivity* 108 (2012) 9.
16. E. Kashparova et al. A dose rate causes no fluctuating asymmetry indexes changes in silver birch (*Betula pendula* (L.) Roth.) leaves and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles in the Chernobyl Exclusion Zone. *Journal of Environmental Radioactivity* 211 (2020) 105731.
17. A.Ye. Kaglyan et al. Fish of the Chernobyl exclusion zone: modern levels of radionuclide contamination and radiation doses. *Hydrobiological Journal* 55 (2019) 81.
18. *Environmental Protection: The Concept and Use of Reference Animals and Plants*. ICRP Publication 108. Ann. ICRP 38(4-6) (2008) 242 p.
19. E. Dagher et al. Establishing a database of radionuclide transfer parameters for freshwater wildlife. *Journal of Environmental Radioactivity* 126 (2012) 299.
20. L. Konovalenko et al. Evaluation of factors influencing accumulation of stable Sr and Cs in lake and coastal fish. *Journal of Environmental Radioactivity* 160 (2016) 64.
21. S.C. Sheppard, Review of "Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments". *Journal of Environmental Radioactivity* 102 (2010) 217.
22. *Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments*. IAEA-TECDOC-1616 (Vienna, IAEA, 2009) 622 p.
23. *Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Fresh-Water Environments*. IAEA-TRS-472 (Vienna, IAEA, 2010) 194 p.
24. S. Fesenko et al. Radionuclide transfer to freshwater biota species: review of Russian language studies. *Journal of Environmental Radioactivity* 102 (2011) 8.
25. T. Yankovich et al. Establishing a database of radionuclide transfer parameters for freshwater wildlife. *Journal of Environmental Radioactivity* 126 (2013) 299.
26. A.E. Kaglyan et al. Radionuclides in the indigenous fish species of the Chernobyl Exclusion Zone. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 13(3) (2012) 306. (Rus)
27. N.A. Beresford et al. A new approach to predicting environmental transfer of radionuclides to wildlife: A demonstration for freshwater fish and caesium. *Sci. Total Environ.* 463-464 (2013) 284.
28. *On approval of the State Hygiene Standards "Permissible levels of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr radionuclides in food and drinking water"*. Ministry of Health of Ukraine. Order No. 256 of 3 May 2006. (Ukr)
29. A. Broberg, E. Andersson. Distribution and circulation of Cs-137 in lake ecosystems. In: *The Chernobyl Fallout in Sweden*. Ed. L. Moberg (The Swedish Radiation Protection Institute, 1991) p. 151.
30. J.T. Smith et al. Uptake and elimination of radiocaesium in fish and the "size effect". *Journal of Environmental Radioactivity* 62 (2002) 145.
31. N.A. Nenashev et al. Accumulation of ¹³⁷Cs by the ichthyofauna of various reservoirs of PGREZ. Ecosystems and radiation: Aspects of existence and development. Sbornik Nauchnykh Trudov dedicated to the 25th anniversary of the Polesky State Radiation and Ecological Reserve. Ed. by Yu. I. Bondar (Minsk: Belarusian Branch of the Russian-Belarusian Information Center, Republican Scientific Research Unitary Enterprise "Institute of Radiology", 2013) 353 p. (Rus)
32. Yu.V. Khomutinin, V.O. Kashparov. Optimization of fish sampling procedure for evaluating the specific activity of ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr and accumulation coefficients. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 17(2) (2016) 189. (Rus)
33. A.G. Paculo. The role of water and feed in the intake of ¹³⁷Cs in fish. *Radiologiya Vodnykh Organizmov* 2 (1973) 136. (Rus)
34. M.E. Haque. Developing a food web-based transfer factor of radiocaesium for fish, whitespotted char (*Salvelinus leucomaenis*) in headwater streams. *Journal of Environmental Radioactivity* 172 (2017) 191.
35. J.T. Smith. Modelling the dispersion of radionuclides following short duration releases to rivers Part 2. Uptake by fish. *Sci. of the Total Environ.* 368 (2006) 502.
36. Yu.V. Movchan, A.I. Smirnov. *Fauna of Ukraine. Fishes*. Vol. 2. Issue 2 (Kyiv: Naukova Dumka, 1983) 360 p. (Ukr)
37. O. V. Kashparova et al. Dynamics of the ¹³⁷Cs excretion from Prussian carp (*Carassius gibelio*) at different water temperatures. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 20(4) (2019) 411. (Rus)

Надійшла / Received 16.09.2019