

В. О. Кашпаров^{1,*}, С. Є. Левчук¹, **Ю. В. Хомутінін¹**,
Д. М. Кондратюк², М. А. Журба¹, Д. М. Голяка¹

¹ Український науково-дослідний інститут сільськогосподарської радіології
Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна
² Природний заповідник «Древлянський», Народичі, Житомирська обл., Україна

*Відповідальний автор: kashparov@nubip.edu.ua

ВПЛИВ ЗАЛІЗО-ГЕКСАЦІАНОФЕРАТУ КАЛІЮ НА НАДХОДЖЕННЯ ТА ВИВЕДЕННЯ ¹³⁷Cs З ОРГАНІЗМУ КАРАСЯ СРІБЛЯСТОГО (CARASSIUS GIBELIO BLOCH)

У лабораторних акваріумних експериментах при температурі води 24 ± 2 °C вивчався вплив різного вмісту в кормі 0, 0,01, 0,025, 0,05, 0,1 і 1 % залізо-гексаціаноферату калію (KFCF - $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) на надходження та виведення ¹³⁷Cs з організму карася сріблястого (*Carassius gibelio* Bloch). В якості базового корму з різним вмістом KFCF було використано промисловий корм для коропових риб фірми «Скалярія» з розміром гранул 3 мм, що містить 30 % білка, 10 % жиру, 3 % клітковини та вітаміни А, D3, Е і С. Щодня протягом години (15:00–16:00) шість риб загальною масою приблизно 120 г у кожному з шести 27-літрових акваріумів отримували 1 г корму з вмістом KFCF від 0 до 1 %, що відповідало споживанню 0,8–80 мг KFCF на 1 кг живої маси. Хронічне надходження ¹³⁷Cs у рибу забезпечували через щоденне годування о 9:00 кормом «Nutra Olympic» (1,5 мм) у кількості $0,200 \pm 0,005$ г (19 ± 2 Бк·доб⁻¹), забрудненим ¹³⁷Cs із активністю 94 ± 5 Бк·г⁻¹.

Для визначення активності ¹³⁷Cs у кожній окремій рибі та в групі по шість особин, риб з кожного акваріума поміщали в ємність Марінеллі (1 л) із «чистою» водою. Загальну масу води доводили до 500 г для вимірювання однієї риби або до 1000 г для групи із шести риб, щоб забезпечити коректні умови для детектування радіоактивності. Вимірювання активності ¹³⁷Cs проводили протягом 600–1000 с на сцинтиляційному гамма-спектрометрі (СЕГ-05, Україна). Наприкінці експерименту прижиттєві вимірювання активності ¹³⁷Cs в рибі дублювалися вимірюваннями проб риби на напівпровідниковому гамма-спектрометрі.

Протягом 60 діб експерименту спостерігалось монотонне збільшення маси риб ($0,03$ – $0,05$ г·доба⁻¹) без статистично значущого впливу KFCF у кормі (0–1 %). Встановлено, що застосування KFCF у кормах призводить до статистично достовірного зменшення надходження ¹³⁷Cs у рибу. Радіологічна ефективність застосування KFCF зростає зі збільшенням його вмісту в кормі і досягає протягом 60 діб максимуму – 2,1 і 3,5 рази при концентрації 0,1 і 1 % KFCF, що узгоджується з раніше отриманими результатами. Для визначення радіологічної ефективності контрзаходу було проведено статистичну обробку експериментальних даних. У цілому, радіологічна ефективність використання корму, який містив 0,1 і 1 % KFCF була досить високою і становила 8 та 16 разів при досягненні стаціонарного рівня вмісту ¹³⁷Cs у рибі. Корм із вмістом 0,01–0,05 % KFCF мав найменшу радіологічну ефективність – 3–6 разів.

Було підтверджено висновки наших попередніх досліджень про те, що на відміну від ссавців, застосування KFCF у кормі для риб призводить до незначного зменшення швидкості всмоктування радіоцезію у шлунково-кишковому тракті риб (1,3–1,7 рази), але при цьому суттєво зменшує період його напіввиведення з організму до 20–30 діб.

Загалом експеримент показав, що використання корму із вмістом 0,1 і 1 % KFCF є ефективним і відносно недорогим контрзаходом для зменшення забруднення ¹³⁷Cs риб.

Ключові слова: ¹³⁷Cs, гексаціаноферат, контрзахід, радіоактивне забруднення, Берлінська лазур, прісноводна риба, фактор зменшення, залізо-гексаціаноферат калію.

V. Kashparov^{1,*}, S. Levchuk¹, **Yu. Khomutinin¹**,
D. Kondratiuk², M. Zhurba¹, D. M. Holiaka¹

¹ Ukrainian Institute of Agricultural Radiology,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
² Drevlianskyi Nature Reserve, Narodychi, Ukraine

*Corresponding author: kashparov@nubip.edu.ua

THE EFFECT OF POTASSIUM FERRIC HEXACYANOFERRATE ON THE INTAKE AND EXCRETION OF ¹³⁷Cs FROM THE SILVER CARP (CARASSIUS GIBELIO)

The influence of different concentrations (0, 0.01, 0.025, 0.05, 0.1 and 1 %) of potassium ferric hexacyanoferrate (KFCF - $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) in the feed on the intake and excretion of ¹³⁷Cs the body of silver Prussian carp (*Carassius*

gibelio) was studied in laboratory aquarium experiments at a water temperature of 24 ± 2 °C. Industrial feed for carp fish containing 30 % protein, 10 % fat, 3 % fiber, and vitamins A, D3, E, and C from the company “Scalaria” with a granule size of 3 mm was used as a base for the production of feed with different KFCF contents. Every day at 3 p.m., six fish with a total mass of about 120 g in each of six aquariums consumed 1 g of feed with 0 - 1 % KFCF, which corresponds to the consumption of 0.8 - 80 mg KFCF per 1 kg of live weight of fish. Chronic intake of ^{137}Cs in fish was carried out by feeding the fish daily at 9:00 a.m. 0.200 ± 0.005 g of Nutra Olympic 1.5 mm feed (19 ± 2 Bq·day⁻¹), which was contaminated with ^{137}Cs (94 ± 5 Bq·g⁻¹).

Measurement of the ^{137}Cs activity in each live individual fish and in six fish together from each aquarium was carried out for 600 - 1000 s on a scintillation gamma spectrometer (SEG-05, Ukraine). Fish were placed in a Marinelli container (1 L) with “clean” water, and the total mass of which was adjusted to 500 g (for one fish) or 1000 g (for a group of six fish). At the end of the experiment, in vivo measurements of ^{137}Cs activity in fish were duplicated by measurements of fish samples on a semiconductor gamma spectrometer.

During the 60 days of the experiment, a monotonic increase in fish mass (0.03 - 0.05 g·day⁻¹) without a statistically significant effect of KFCF in the feed (0 - 1 %) was observed. It was established that the use of KFCF in feed leads to a statistically significant decrease in the intake of ^{137}Cs in fish. The radiological efficiency of KFCF application increases by increasing its concentration in the feed and reaches a maximum of 2.1 and 3.5 times within 60 days at concentrations of 0.1 and 1 % KFCF, respectively. The result is consistent with our previous findings. Statistical processing of the experimental data showed that, in general, the radiological efficiency of using feed containing 0.1 and 1% KFCF was quite high and amounted to 8 and 16 times when reaching a stationary level of ^{137}Cs contamination of fish. Feed containing 0.01 - 0.05 % KFCF had the lowest radiological efficiency, 3 - 6 times.

The conclusions of our previous studies confirmed that, unlike mammals, the use of KFCF in fish feed leads to a slight decrease in the rate of absorption of radiocesium in the gastrointestinal tract of fish (1.3 - 1.7 times), but at the same time, significantly reduces its biological half-life in the body to 20 - 30 days.

Overall, the experiment showed that the use of feed containing 0.1 and 1 % KFCF is an effective and relatively inexpensive countermeasure to reduce ^{137}Cs contamination of fish.

Keywords: ^{137}Cs , hexacyanoferrate, countermeasure, activity, Prussian blue, radioactive contamination, freshwater fish, reduction factor, potassium ferric hexacyanoferrate.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. А.Н. Марей и др. *Глобальные выпадения продуктов ядерных взрывов как фактор облучения человека*. Под ред. А.Н. Марей (Москва: Атомиздат, 1980) 188 с. / A.N. Marey et al. *Global Fallout of Nuclear Explosion Products as a Factor in Human Irradiation*. A.N. Marey (Ed.) (Moskva: Atomizdat, 1980) 188 p. (Rus)
2. [STI/PUB/1239. Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience](#). Report of the Chernobyl Forum Expert Group ‘Environment’. Radiological assessment reports series (Vienna, IAEA, 2006) 180 p.
3. M. Balonov et al. Harmonization of standards for permissible radionuclide activity concentrations in foodstuffs in the long term after the Chernobyl accident. *J. Radiol. Prot.* 38 (2018) 854.
4. [Допустимі рівні вмісту радіонуклідів \$^{137}\text{Cs}\$ та \$^{90}\text{Sr}\$ у продуктах харчування та питній воді \(ДР-2006\). Гігієнічний норматив ГН 6.6.1.1-130-2006. / Permissible levels of radionuclides \$^{137}\text{Cs}\$ and \$^{90}\text{Sr}\$ in food and drinking water \(DR-2006\). Hygienic standard of the State Sanitary and Epidemiological Service. HS 6.6.1.1-130-2006. \(Ukr\)](#)
5. [IAEA-TRS-475. Guidelines for Remediation Strategies to Reduce the Radiological Consequences of Environmental Contamination](#). S. Fesenko, B.J. Howard (Eds.) (Vienna, IAEA, 2012). 183 p.
6. B.J. Howard, N.A. Beresford, G. Voigt. Countermeasures for animal products: a review of effectiveness and potential usefulness after an accident. *J. Environ. Radioact.* 56(1-2) (2001) 115.
7. A. Ulanovsky et al. ReSCA: decision support tool for remediation planning after the Chernobyl accident. *Radiat. Environ. Biophys.* 50 (2011) 67.
8. T. Wada et al. Strong contrast of cesium radioactivity between marine and freshwater fish in Fukushima. *J. Environ. Radioact.* 204 (2019) 132.
9. 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(1) (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(1) (2021) 62. (Ukr)
10. В.О. Кашпаров та ін. Радіоактивне забруднення риби у заплавному озері Старуха Чорнобильської зони відчуження. *Ядерна фізика та енергетика* 26(2) (2025) 183. / V.O. Kashparov et al. Radioactive contamination of fish in the flooding lake Starukha in the Chornobyl Exclusion Zone. *Nucl. Phys. At. Energy* 26(2) (2025) 183. (Ukr)
11. O. Kashparova et al. Effects of clean feed as countermeasure to reduce the ^{90}Sr and ^{137}Cs levels in fish from contaminated lakes. *J. Environ. Radioact.* 258 (2023) 107091.
12. P. Pavlenko et al. Prussian Blue to reduce radiocaesium accumulation in fish in lakes affected by the Chornobyl accident. *J. Environ. Radioact.* 270 (2023) 107282.

13. V. Kashparov et al. Effect of potassium ferric hexacyanoferrate in feed on ^{137}Cs uptake and excretion by silver Prussian carp. [J. Environ. Radioact. 278 \(2024\) 107502.](#)
14. V. Kashparov et al. Uptake from water and depuration of ^{137}Cs and ^{90}Sr by silver Prussian carp (*Carassius gibelio*). [J. Environ. Radioact. 276 \(2024\) 107443.](#)
15. V. Kashparov et al. Effect of different Prussian Blue compounds in feed on ^{137}Cs uptake and excretion by silver Prussian carp. [J. Environ. Radioact. 289 \(2025\) 107771.](#)
16. V. Kashparov et al. The dependence of ^{137}Cs absorption by carp fish feed on the content of various types of Prussian Blue. [Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine 21\(3\) \(2025\) 49.](#)
17. European Commission. Directorate-General for Research and Innovation. EURANOS: recovery handbooks for radiation incidents. Publications Office. EUR 24457 EN (2011).
18. 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.](#)

Надійшла / Received 01.08.2025