

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ГІДРОБІОЛОГІЇ

**ПОМОРЦЕВА**  
Наталія Анатоліївна



УДК [574.5:597:577.3:612.11](043)

**ГЕМАТОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ РИБ У ВОДОЙМАХ  
З РІЗНИМ РІВНЕМ РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ**

03.00.10 – іхтіологія

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата біологічних наук

**Київ – 2019**

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Інституті гідробіології НАН України, м. Київ

Науковий керівник: доктор біологічних наук,  
старший науковий співробітник  
**Гудков Дмитро Ігорович**,  
Інститут гідробіології НАН України,  
завідувач відділу водної радіоекології

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук, професор  
**Грубінко Василь Васильович**,  
Тернопільський національний  
педагогічний університет імені  
Володимира Гнатюка,  
завідувач кафедри загальної біології та  
методики навчання природничих  
дисциплін

кандидат біологічних наук  
**Маренков Олег Миколайович**,  
Дніпровський національний університет  
імені Олеся Гончара,  
доцент кафедри загальної біології та  
водних біоресурсів

Захист дисертації відбудеться 21 лютого 2019 р. о \_\_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.26.213.01 в Інституті гідробіології НАН України за адресою: 04210, м. Київ, пр. Героїв Сталінграда, 12.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту гідробіології НАН України (04210, м. Київ, пр. Героїв Сталінграда, 12).

Автореферат розісланий « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
доктор біологічних наук



Н. І. Кірпенко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Широке використання ядерних технологій у різних галузях діяльності людини спричинило проблему радіонуклідного забруднення довкілля і особливо поверхневих континентальних водойм. Найбільш важливим джерелом надходження штучних радіонуклідів у навколишнє природне середовище є підприємства ядерного паливного циклу, які забезпечують значну частину енергетичних потреб людства – в середньому до 11% у країнах світу і до 55% в Україні (IAEA Report, 2017). Передбачається, що цей відсоток зростатиме, оскільки Україна розглядає атомну енергетику як одне з найбільш економічно ефективних низьковуглецевих джерел енергії (Енергетична стратегія України на період до 2035 р., 2017).

Аварія на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС) стала масштабнішою катастрофою в історії атомної індустрії як за кількістю радіонуклідів, що надійшли в навколишнє середовище, так і за площею забруднених територій. Внаслідок атмосферного і водного переносу радіоактивних речовин на сотні й тисячі кілометрів від зруйнованого реактора, величезні за площею водозбори і акваторії зазнали інтенсивного радіонуклідного забруднення.

Серед головних завдань, які постали в результаті аварії на ЧАЕС, особливої актуальності набули дослідження радіаційно-індукованих порушень у біосистемах різних рівнів організації. Результати радіоекологічних досліджень водойм у Чорнобильській зоні відчуження (ЧЗВ) свідчать про переважне накопичення і подальший перерозподіл тривалоіснуючих радіонуклідів ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  та ін.) в абіотичних (вода, зависі та донні відклади) і біотичних компонентах водних екосистем, у складі яких важливу роль відіграють представники іхтіофауни (Романенко та ін., 1992; Радиоекологія водних об'єктів, 1997; Кузьменко та ін., 2001, 2010; Gudkov et al., 2006).

Радіонуклідне забруднення водойм спричиняє різної складності ушкодження гідробіонтів, серед яких найбільш радіаційно-уразливими є риби. Кровотворна система риб виявляє високу чутливість до дії радіаційного чинника. Доведено, що зміни у складі крові виникають навіть за дії на організм порівняно малих доз йонізуючого опромінення (Бонд, 1974; Инграм, 1974; Дербин, 1989). І хоча гематологічні дослідження в межах ЧЗВ виконувались переважно на ссавцях, наявні дані експериментальних робіт, а також досліджень, виконаних на технологічних водоймах ПО «Маяк» (Челябінська обл., РФ) свідчать, що йонізувальне опромінення у малих дозах призводить до порушень системи кровотворення (Шлейфер и др., 1980; Шеханова, 1983) та зростання морфологічних аномалій клітин крові у риб (Al-Sabti, 1995; Смагин и др., 2005; Anbumani et al., 2012; Пряхин и др., 2012; Стяжкіна, 2014). Проте дослідження, присвячені вивченню дозозалежної відповіді кровотворної системи риб на хронічну дію йонізувального опромінення в природних умовах, до останнього часу були вкрай обмеженими.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано у відділі водної радіоекології Інституту

гідробіології (ІГБ) НАН України у рамках наступних тем: «Порівняльний аналіз закономірностей міграції техногенних радіонуклідів у великих водних екосистемах Сибіру, Уралу та України на прикладі річки Єнісей, Об-Іртишської річкової системи та водойм Чорнобильської зони відчуження» (2006–2008 рр., № державної реєстрації 0207U006868); «Формування доз опромінення та порушення у представників біогідроценозів за умов радіонуклідного забруднення водних екосистем» (2006–2010 рр., № державної реєстрації 0106UA02149); «Особливості функціонування та відновлення прісноводних екосистем в умовах комплексного впливу атомних електростанцій» (2011–2015 рр., № державної реєстрації 0111U000076); «Transfer – Exposure – Effects (TREE): Integrating the science needed to underpin radioactivity for humans and wildlife (Ref: NE/000393/1), funded by the Natural Environment Research Council, United Kingdom» (2014–2016 рр., № державної реєстрації 0114U005431); «Віддалені наслідки радіонуклідного забруднення водойм на біологічні системи різного рівня організації» (2016–2020 рр., № державної реєстрації 0116U002118).

**Мета і завдання дослідження.** Встановити особливості гематологічних показників у краснопірки звичайної (*Scardinius erythrophthalmus* L.), плітки звичайної (*Rutilus Rutilus* L.), окуня звичайного (*Perca fluviatilis* L.) і карася сріблястого (*Carassius gibelio* Bloch) у водоймах Чорнобильської зони відчуження та з'ясувати адаптаційні реакції кровотворної системи риби до дії хронічного та додаткового гострого йонізуючого опромінення (ДГО).

Дослідженнями передбачалось вирішення наступних завдань:

1. визначити рівні радіонуклідного забруднення та потужність поглиненої дози (ППД) йонізуючого опромінення для риби у водоймах ЧЗВ;
2. дослідити лейкоцитарну формулу та спектр порушень клітин еритроцитарної ланки периферійної крові риби у водоймах з різним рівнем радіонуклідного забруднення;
3. встановити залежність відносної кількості лімфоцитів і гранулоцитів, а також виникнення структурних ушкоджень та порушень мітозу еритроцитів периферійної крові риби від ППД йонізуючого опромінення;
4. оцінити особливості формування кількісного та якісного складу крові, а також адаптаційні можливості кровотворної системи риби із забрудненої радіонуклідами водойми у ЧЗВ за додаткового гострого йонізуючого опромінення у сублетальному діапазоні дозового навантаження.

**Об'єкт дослідження:** зміни гематологічних показників риби в умовах хронічного радіонуклідного забруднення водойм та додаткового гострого йонізуючого опромінення.

**Предмет дослідження:** лейкоцитарна формула та цитоморфологічні показники еритроцитів крові риби у водоймах ЧЗВ із різним рівнем радіонуклідного забруднення.

**Методи дослідження:** гідробіологічні і радіоекологічні методи польових досліджень; радіохімічні і спектрометричні методи визначення питомої активності радіонуклідів в абіотичних та біотичних компонентах водних

екосистем; інструментальні, математичні і комп'ютерні методи розрахунку ППД внутрішнього і зовнішнього йонізуючого опромінення; цитогенетичні методи реєстрації частоти проліферативних порушень клітин; гематологічні методи аналізу складу формених елементів крові; морфологічні методи реєстрації частоти структурних порушень еритроцитів; математичні та статистичні методи аналізу отриманих результатів.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вперше надано комплексну оцінку стану кровотворної системи краснопірки звичайної, окуня звичайного, плітки звичайної і карася сріблястого у забруднених тривалоіснуючими радіонуклідами водоймах ЧЗВ. Виявлено широкий спектр цитогенетичних і морфологічних аномалій клітин еритроцитарної ланки крові риб, які було спричинено впливом радіаційного чинника. Розраховано лейкоцитарні формули і зміни співвідношення формених елементів крові залежно від дозового навантаження на організм риб у водоймах ЧЗВ. Експериментально встановлено, що в популяціях риб, які тривалий час населяють забруднені радіонуклідами водойми, підвищується радіостійкість лейкоцитів до додаткового опромінення і зростає спектр порушень у генетичних структурах еритроцитів.

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані результати гематологічних та цитогенетичних досліджень крові риб, з доповненням реконструкцією дозових навантажень на природні популяції риб у забруднених радіонуклідами водоймах, є важливою і необхідною складовою комплексного підходу при розробці прогнозів подальших негативних наслідків хронічного впливу йонізуючого опромінення на водну біоту. Оскільки ареал розповсюдження досліджуваних видів риб охоплює практично всю Європу та виходить далеко за її межі, а також вони є порівняно радіаційно-чутливими і зручними об'єктами для моніторингових досліджень, ці види можуть бути використані у якості референтних для розробки стратегії захисту навколишнього природного середовища від радіонуклідного забруднення.

Теоретичні положення та практичні результати роботи можуть бути використані для навчання фахівців з біологічного, екологічного і ветеринарного напрямів підготовки у вищих навчальних закладах III–IV рівнів акредитації.

**Особистий внесок здобувача.** Дисертантка брала безпосередню участь у плануванні і виконанні досліджень, в аналізі та узагальненні літературних даних за темою дослідження, зборі та обробці біологічного матеріалу, статистичній обробці отриманих даних, а також в узагальненні та інтерпретації результатів досліджень. Відбір зразків крові риб і виготовлення препаратів для гематологічних та цитогенетичних досліджень, а також виконання всіх складових експериментальних досліджень проведені здобувачкою особисто.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення і результати досліджень оприлюднено на 19 міжнародних та вітчизняних конференціях і з'їздах: Міжнародна конференція «25 років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього» (Київ, 2011); 4-а Міжнародна наукова конференція «Фізичні методи в екології, біології та медицині» (Львів – Шацьк, 2011);

Міжнародна наукова конференція, посвячена 25-літтю Інститута радіобіології НАН Білорусі (Гомель, 2012); Науково-практична конференція з міжнародною участю «Радіоекологія-2014» (Житомир, 2014); 15th World Lake Conference. Lakes: the Mirrors of the Earth. Balancing Ecosystem Integrity and Human Wellbeing (Perugia, Italy, 2014); Міжнародна наукова конференція «Радіобіологія: антропогенні випромінювання» (Гомель, 2014); 4-й З'їзд Радіобіологічного товариства України (Київ, 2015); 2nd, 3rd, 5th and 6th International Conferences on Radiation and Application in various fields of Research (Nis, Serbia, 2014; Budva, Montenegro, 2015, 2017; Ohrid, Makedonia, 2018 ); 6-й З'їзд Гідроекологічного товариства України (Київ, 2015); Науково-практична конференція «Радіоекологічні і радіобіологічні аспекти наслідків Чорнобильської катастрофи» (Житомир, 2015); 23-я і 25-а щорічні наукові конференції Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 2016, 2018); Coordination and Implementation of a Pan-Europe Instrument for Radioecology Workshop: Thirty years after the Chernobyl accident what do we know about the effects of radiation on the environment? (Chernihiv, Ukraine, 2016); Advanced Research Workshop “Biomarkers of Radiation in the Environment: Robust tools for risk assessment” (Yerevan, Armenia, 2017); Науково-практична конференція «Чорнобильська катастрофа. Актуальні проблеми, напрямки та шляхи їх вирішення» (Житомир, 2018); 17th World Lake Conference. Harmonious Coexistence of Humans and Lakes (Tsukuba, Japan, 2018).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 60 наукових робіт, з яких: 11 – статті у фахових наукових журналах, 2 – патенти України на корисну модель, 47 – матеріали конференцій та короткі повідомлення у фахових та міжнародних наукових виданнях.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційну роботу викладено на 202 сторінках друкованого тексту, складається із анотації, вступу, аналітичного огляду літератури, опису об'єктів та методів досліджень, трьох розділів з результатами власних досліджень, узагальнення, висновків, списку використаної фахової літератури та одного додатку. Список використаних літературних джерел налічує 212 назв, у тому числі 52 латиною. Текст ілюстровано 56 рисунками і 26 таблицями.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

### ВПЛИВ ХРОНІЧНИХ ДОЗ ЙОНІЗУВАЛЬНОГО ВИПРОМІНЕННЯ НА КРОВОТВОРНУ СИСТЕМУ РИБ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

Здійснено аналіз наукової фахової літератури з питань впливу хронічного радіонуклідного забруднення природних і технологічних водойм, а також йонізуючого опромінення в експериментальних умовах на кровотворну систему риб. Проаналізовано дані щодо особливостей лейкоцитарної формули, кількісних показників лейкоцитів, морфологічних порушень еритроцитів периферійної крові риб із забруднених радіонуклідами прісноводних

екосистем. Відзначено актуальність досліджень кровотворної системи риб у природних водоймах в умовах хронічного радіаційного впливу в малих дозах.

## ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В основу дисертаційної роботи покладено результати досліджень, здійснених в натурних і лабораторних умовах упродовж експедиційних виїздів у ЧЗВ на базі ІГБ НАН України в період 2011–2017 рр.

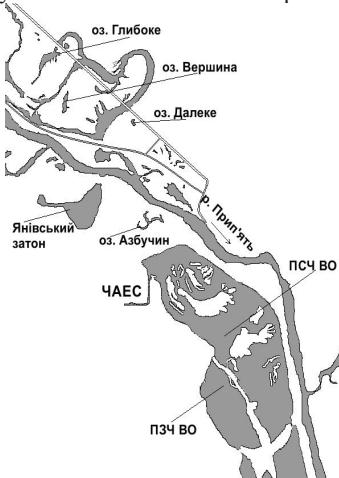


Рис. 1. Схема полігонних водойм у ЧЗВ

Об'єктами досліджень були найбільш поширені у водоймах ЧЗВ види риб: *Rutilus rutilus* (L.), *Scardinius erythrophthalmus* (L.), *Perca fluviatilis* (L.) і *Carassius gibelio* (Bloch). Відбір зразків риб відбувався у рамках регламентного моніторингу співробітниками Державного спеціалізованого підприємства «Екоцентр» ДАЗВ України. Матеріал відбирали у водоймах різного типу, які відрізнялись за рівнем радіонуклідного забруднення: в озерах Глибоке, Азбучин, Вершина і Далеке, Янівському затоні та двох частинах водойми-охолоджувача (ВО) ЧАЕС – північно-західній (ПЗЧ) і північно-східній (ПСЧ) (рис. 1). Референтними водоймами слугували оз. Діброва (Таращанський р-н Київської обл.), оз. Підбірна (масив Осокорки, м. Київ), а також Оболонська затока Канівського водосховища (м. Київ).

Аналізували гематологічні показники лейкоцитарної ланки та цитогенетичні характеристики еритроцитів периферійної крові риб. При виконанні експериментальних досліджень визначали кількісні та якісні параметри лейкоцитів, тромбоцитів та еритроцитів периферійної крові, а також лейкоцитарні показники нирок риб.

При відборі та обробці матеріалу застосовували загальноприйняті у гідробіологічних, радіоекологічних та гематологічних дослідженнях методи (Методи гідроекологічних досліджень..., 2006). Вибірки всіх видів риб були представлені статевозрілими особинами віком 4–6 років. Фарбування мазків крові проводили за Паппенгеймом (Давидов, 2006). Лейкоцитарну формулу розраховували на основі аналізу 200 клітин білої крові для кожного препарату. Клітини крові ідентифікували за класифікацією Н. Т. Іванової (1983). Кількість еритроцитів з порушеннями визначали при аналізі 3000 клітин на кожному мазку за Л. Д. Житеньовою (1989). Всього було досліджено понад 3000 препаратів крові.

Для експериментальних досліджень з вивчення впливу ДГО на кровотворну систему риб використали 96 особин карася сріблястого (віком 2–3 роки та розміром 10–15 см) з оз. Вершина (ЧЗВ) і 96 особин з оз. Діброва, для

яких середня ППД становила, відповідно, 110,80 і 0,07 мкГр/год. Додаткове опромінення риб проводили на базі Державної установи «Національний інститут раку» МОЗ України (м. Київ). Риб піддавали одноразовому рентгенівському опроміненню на установці РУМ-17 (ППД – 0,89 Гр/хв.) у дозі 2,5, 5,0 і 10,0 Гр. Аналізували чотири вибірки риб по 24 екз. у кожній – три вибірки, опромінені різними дозами, і контроль для двох озер. Морфологічні і цитогенетичні дослідження виконано в динаміці на першу, сьому і 30-у добу після опромінення. Абсолютну кількість лейкоцитів і тромбоцитів рахували непрямым методом за Фонію (тис/мкл) (Карпищенко, 2013). Кількість молодих еритроїдних елементів визначали на 1000 еритроцитів (%).

Оцінку ППД для риб у природних водоймах виконували на основі даних з питомої активності головних дозоутворювальних радіонуклідів  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$  у воді, донних відкладах і тканинах риб за допомогою програмного забезпечення ERICA Assessment Tool 1.2.1.

Статистичну обробку даних проводили з використанням загальноприйнятих методів (Лакін, 1973; Большов, 1983) із за допомогою програм MS Excel та STATISTICA 5.5.

При виконанні дисертаційної роботи біоетичні норми не були порушені.

## **РАДІОНУКЛІДНЕ ЗАБРУДНЕННЯ РИБ ТА ПОТУЖНІСТЬ ПОГЛИНЕНОЇ ДОЗИ ЙОНІЗУВАЛЬНОГО ОПРОМІНЕННЯ**

Головними дозоутворювальними радіонуклідами для риб у водоймах ЧЗВ на даний час є  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$ . Найбільшими величинами питомої активності  $^{90}\text{Sr}$  характеризуються риби оз. Глибоке – 6460–30085 Бк/кг. За середніми величинами вмісту  $^{90}\text{Sr}$  досліджувані види оз. Глибоке можна розташувати у такий ряд (Бк/кг): карась сріблястий (17220) > краснопірка (15330) > плітка (12390) > окунь (9620). Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  в рибах озера зареєстрована в межах 1590–31860 Бк/кг. Середній вміст  $^{137}\text{Cs}$  для різних видів риб оз. Глибоке формує наступний ряд (Бк/кг): окунь (7870) > краснопірка (5860) > карась сріблястий (3450) > плітка (2650). Середня питома активність  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$  для краснопірки оз. Далеке впродовж періоду досліджень становила 7460 і 2650 Бк/кг, відповідно. Риби ВО ЧАЕС характеризувались такими межами величин питомої активності радіонуклідів:  $^{90}\text{Sr}$  – 40–420;  $^{137}\text{Cs}$  – 670–10900 Бк/кг. Для риб Янівського затону зареєстровані наступні величини вмісту радіонуклідів:  $^{90}\text{Sr}$  – 620–11660;  $^{137}\text{Cs}$  – 430–6040 Бк/кг. Діапазони питомої активності  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$  для риб референтних озер становили 0,4–5,0 і 4,0–110,0 Бк/кг, відповідно.

Середні величини ППД для риб ЧЗВ упродовж періоду досліджень становили: для краснопірки – 6,5, 7,4 і 54,1 мкГр/год в оз. Далеке, ВО ЧАЕС і оз. Глибоке, відповідно; для плітки – 8,7, 17,4 і 67,3 мкГр/год в Янівському затоні, ВО ЧАЕС і оз. Глибоке, відповідно; для окуня – 7,8, 10,9, 66,4 мкГр/год в Янівському затоні, ВО ЧАЕС і оз. Глибоке, відповідно; для карася сріблястого –



16,9, 36,3, 84,5 у ВО ЧАЕС, оз. Азбучин і оз. Глибоке, відповідно. Для риб референтних водойм ППД не перевищувала 0,07 мкГр/год.

Зовнішнє опромінення досліджуваних видів риб у непроточних водоймах ЧЗВ формується переважно за рахунок  $^{137}\text{Cs}$ , який депоновано у донних відкладах водойм. Таким чином, до 80% річної дози зовнішнього опромінення риби можуть отримувати у зимовий період, коли знаходяться на ямах поблизу або безпосередньо у донних відкладах. Внесок  $^{137}\text{Cs}$  до внутрішньої ППД за рахунок інкорпорованої у тканинах компоненти становить 10–40%. За рахунок інкорпорованого у тканинах  $^{90}\text{Sr}$  у непроточних водоймах формується близько 60–90% внутрішньої ППД опромінення риб. Таким чином, в даний період  $^{90}\text{Sr}$  можна вважати головним радіонуклідом, який формує внутрішню дозу опромінення риб у непроточних водоймах ЧЗВ.

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ТРИВАЛОГО ЙОНІЗУВАЛЬНОГО ОПРОМІНЕННЯ НА ГЕМАТОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ РИБ В УМОВАХ ВОДОЙМ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

*Зміни лейкоцитарної фракції периферійної крові риб.* Аналіз лейкоцитарної формули риб ЧЗВ показав, що зі збільшенням дозового навантаження спостерігається перерозподіл формених елементів крові в бік зменшення кількості лімфоцитів і збільшення числа моноцитів і гранулоцитів (рис. 2, 3).

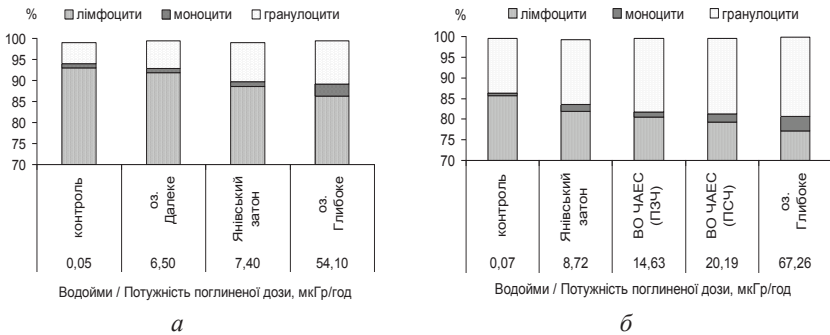


Рис. 2. Залежність співвідношення формених елементів крові в периферійній крові краснопірки звичайної (а) і плітки звичайної (б) від ППД

На препаратах крові краснопірки відмічали збільшення вмісту нейтрофільних гранулоцитів при середній потужності поглиненої дози 7,4 мкГр/год. Слід відзначити, також, збільшення в крові краснопірки вмісту моноцитів з 1,0 до 2,8% (у 2,8 рази порівняно з контролем) при збільшенні середньої потужності поглиненої дози до 54,1 мкГр/год. Порівняно з контрольною вибіркою, в крові риб з радіаційно-забруднених озер виявлено високий вміст псевдоеозинофілів і псевдобазофілів. Припускається, що така

макрофагальна активність може бути пов'язана з аутоалергічною реакцією організму на локальні мікросередки ураження тканин на ділянках розпаду інкорпорованих радіонуклідів.

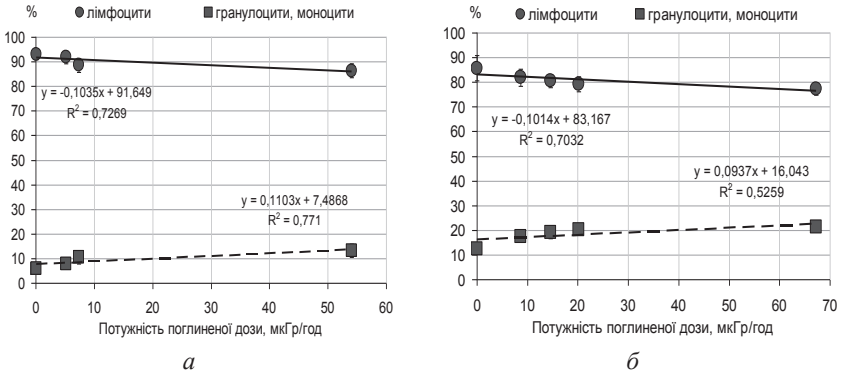


Рис. 3. Залежність відносної кількості лімфоцитів і гранулоцитів в периферійній крові краснопірки звичайної (а) та плітки звичайної (б) від ППД

Аналіз лейкограм показав достовірну відмінність ( $p < 0,05$ ) кількісних показників окремих типів лейкоцитів не лише від контролю, але й між іншими водоймами в межах ЧЗВ (табл. 1).

Таблиця 1.

Показники лейкограми периферійної крові краснопірки звичайної за різної потужності поглиненої дози, % ( $M \pm m$ )

| Формені елементи крові | Оз. Підбірна (контроль) n=17        | Оз. Далеке n=28 | Янівський затон n=30 | Оз. Глибоке n=31 |
|------------------------|-------------------------------------|-----------------|----------------------|------------------|
|                        | Потужність поглиненої дози, мГр/год |                 |                      |                  |
|                        | 0,05                                | 6,5             | 7,4                  | 54,1             |
| Бластні клітини        | 1,0±0,2                             | 0,5±0,1*        | 1,0±0,2              | 0,5±0,1*         |
| Лімфоцити              | 93,0±2,1                            | 91,8±1,1        | 88,6±1,7*            | 86,3±1,5*        |
| Моноцити               | 1,0±0,2                             | 1,1±0,2         | 1,1±0,1              | 2,8±0,3*         |
| Псевдоеозинофіли       | 2,1±0,1                             | 2,9±0,5*        | 3,2±0,5*             | 3,6±0,2*         |
| Псевдобазофіли         | 0,2±0,05                            | 1,6±0,2*        | 0,7±0,1*             | 0,8±0,2*         |
| Нейтрофіли             | 2,7±0,5                             | 2,1±0,2         | 5,1±0,3*             | 4,5±0,5*         |
| Пінисті клітини        | —**                                 | —               | 0,3±0,1*             | 1,5±0,1*         |

Примітка: \* – рівень значущості відмінностей від контролю  $p < 0,05$ ; \*\* – клітин не виявлено.

Відносна кількість лейкоцитів у крові краснопірки з референтної водойми становила 74,7±1,6%, в оз. Далеке – 73,5±2,3, в Янівському затоні – 74,5±0,8, в оз. Глибоке – 65,9±0,5%. На основі цих даних і показників відносного вмісту

лейкоцитів можна стверджувати, що при зростанні ППД до 54,1 мкг/год відбувається дозозалежне зниження кількості лімфоцитів за рахунок збільшення кількості гранулоцитів.

У препаратах периферійної крові плітки з Янівського затону та обох частин ВО ЧАЕС реєстрували збільшення кількості лейкоцитів з  $63,7 \pm 1,1$  до  $74,2 \pm 1,3\%$  (у 1,2 рази відносно контролю). В оз. Глибоке, де ППД для плітки становила 67,3 мкг/год, відмічено зменшення кількості лейкоцитів з  $63,7 \pm 1,1$  до  $55,1 \pm 0,4\%$  (у 1,1 рази відносно контрольних даних).

Кількість лейкоцитів в крові окуня з Янівського затону була нижче в 1,1 рази відносно контролю (з  $68,9 \pm 2,1$  до  $62,05 \pm 1,5\%$ ), оз. Глибоке до  $58,5 \pm 0,5\%$  (в 1,2 рази). У риб ПЗЧ ВО ЧАЕС реєстрували збільшення кількості лейкоцитів до  $75,3 \pm 1,7\%$  (в 1,1 рази).

У периферійній крові карася сріблястого, для якого ППД була в межах 0,06–84,5 мкг/год, реєстрували зменшення загальної кількості лейкоцитів у 1,3 рази (з 51,4 до 38,6%) за відносно низької кількості лімфоцитів, що може свідчити про пригнічення кровотворення, особливо стосовно клітин лімфоцитарного ряду.

Такі зміни у лейкоцитарній фракції можуть свідчити про напруження процесу кровотворення риб ЧЗВ, з відповідними змінами клітинного складу периферійної крові, особливо її лімфоцитарного ряду.

**Морфологічні порушення еритроцитів у периферійній крові риб.** Дослідження морфологічних порушень в еритроцитах дозволяють визначити залежність пошкодження і відновлення різних клітинних структур від величини дозового навантаження. Зрілі еритроцити риб зручно використовувати в якості гематологічного індикатора в умовах впливу йонізуючого опромінення (Смагин і др., 2005; Пряхин і др., 2012). На рисунку 4 представлено найбільш типові порушення еритроцитів, які зустрічались у крові риб з досліджуваних водойм. Загалом ідентифіковано 12 типів порушень еритроцитів.

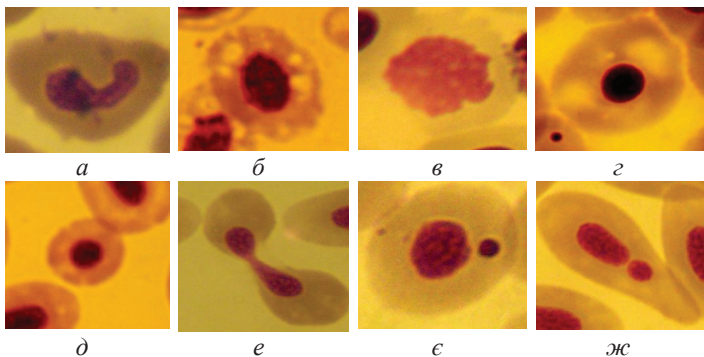


Рис. 4. Найбільш типові морфологічні порушення еритроцитів периферійної крові риб з досліджених водойм: а – деформація ядра; б – вакуолізована цитоплазма; в – цитоліз; г – пікноз; д – мікроцит; е – амітоз; є – мікроядро; ж – двоядерний еритроцит.

Дослідження еритроцитів з морфологічними порушеннями різних видів риб з водойм ЧЗВ дозволило встановити кількісні та якісні відмінності клітин червоної крові порівняно з рибами контрольних водойм (рис. 5). У риб референтних водойм кількість деструктивних еритроцитів була на рівні 1,5% (плітка), 2,1% (краснопірка), 2,3% (карась сріблястий), 5,7% (окунь). Кількість типів порушень в клітинах коливалась від 3 до 5. У риб з водойм ЧЗВ зі збільшенням ППД реєстрували збільшення змін як кількості, так і якісного складу еритроцитів периферійної крові.

Деструктивні порушення еритроцитів були представлені деформацією ядер, пікнозом, вакуолізованою цитоплазмою, пристінковими ядрами, шистоцитами, мікроцитами, цитолізом, двоядерними еритроцитами, амітозом, еритроцитами з мікроядрами.

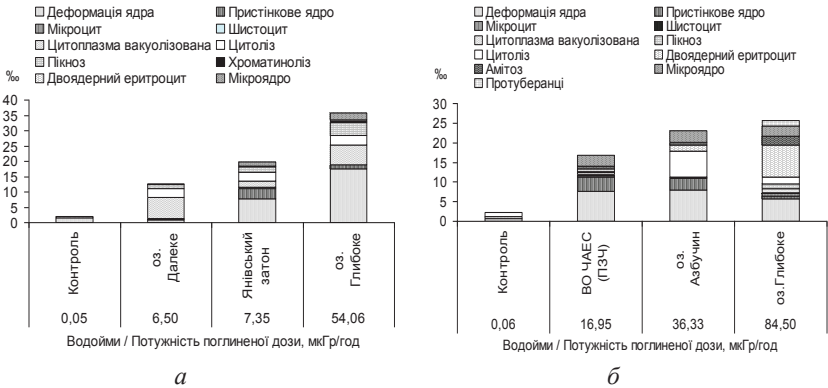


Рис. 5. Спектр морфологічних порушень еритроцитів риб у водоймах ЧЗВ: *а* – краснопірка звичайна; *б* – карась сріблястий

За максимальної ППД у досліджених риб ЧЗВ (оз. Глибоке) встановлено збільшення кількості і спектру морфологічних порушень порівняно з контрольною вибіркою: у краснопірки – 35,8% (у 17,0 разів), з 3–10 типами порушень, у плітки – 27,5% (у 18,3 рази), з 3–9 типами порушень, у окуня – 11,8 (у 2,1 рази), з 5–8 типами порушень, у карася сріблястого – 25,7% (у 11,2 рази) з 4–11 типами порушень. Серед порушень переважали деформації ядер, пристінкові ядра, цитоліз, пікноз і мікроядра.

Встановлено збільшення морфологічних порушень у риб ЧЗВ у середньому у 4,2 рази, порівняно з показниками риб з референтних водойм.

Зі збільшенням ППД серед морфологічних порушень еритроцитів реєстрували також зростання кількості клітин з порушенням мітозу (рис. 6).

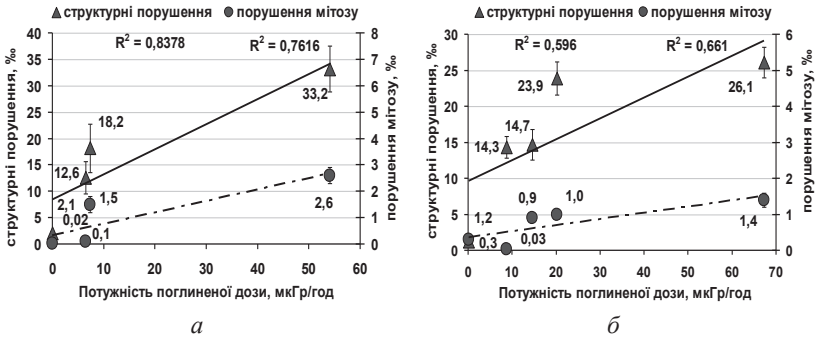


Рис. 6. Лінійна залежність частоти морфологічних порушень еритроцитів від ППД: а – краснопірка звичайна; б – плітка звичайна

За максимальної ППД (оз. Глибоке) виявлені еритроцити з патологією мітозу: у краснопірки – 2,6‰ (у контролі – 0,02‰), у плітки – 1,4 (у контролі – 0,3), у окуня – 1,3 (у контролі не відмічали), у карася – 12,9‰ (у контролі не відмічали).

### ОЦІНКА ВПЛИВУ ДОДАТКОВОГО ГОСТРОГО ОПРОМІНЕННЯ НА ПОКАЗНИКИ ПЕРИФЕРІЙНОЇ КРОВІ ТА КРОВОТВОРНИХ ОРГАНІВ КАРАСЯ СРІБЛЯСТОГО З ОЗ. ВЕРШИНА

**Цитопатологія еритроцитів.** Аналіз мазків периферійної крові контрольної вибірки карася з референтної водойми (оз. Діброва) показав, що середня частота виявлених порушень в клітинах крові становить  $1,7 \pm 0,2\%$ .

В першу добу після ДГО у крові риба з оз. Вершина максимальний вихід кількості еритроцитів зі структурними порушеннями (цитоліз, пікноз, вакуолізована цитоплазма і деформація ядер) спостерігали за дози опромінення 2,5 Гр. У риба з оз. Діброва було зареєстровано вірогідне дозозалежне збільшення кількості деструктивних клітин еритроцитів з підвищенням поглиненої дози (рис. 7 а). На сьому добу спостережень (коли після разового опромінення поновлюється проліферація клітин, які вижили в кровотворних органах) відзначено вірогідне збільшення порушень клітин червоної крові внаслідок патології мітозу (амітоз, перегородка в ядрі), а також еритроцитів зі структурними порушеннями (рис. 7 б). В еритроцитах риба з оз. Вершина на 30 добу (рис. 7 в) виявили посилення патологічних процесів у відповідь на радіаційний вплив, а саме – збільшення в середньому кількості грубих пошкоджень молекул ДНК: амітозів (у 14,8 рази), клітин з перегородкою в ядрі (у 1,9 рази), а також структурних порушень в клітинах: протуберанців – в середньому у 10,5 рази, клітин з вакуолізованою цитоплазмою – в середньому у 8,6 рази.

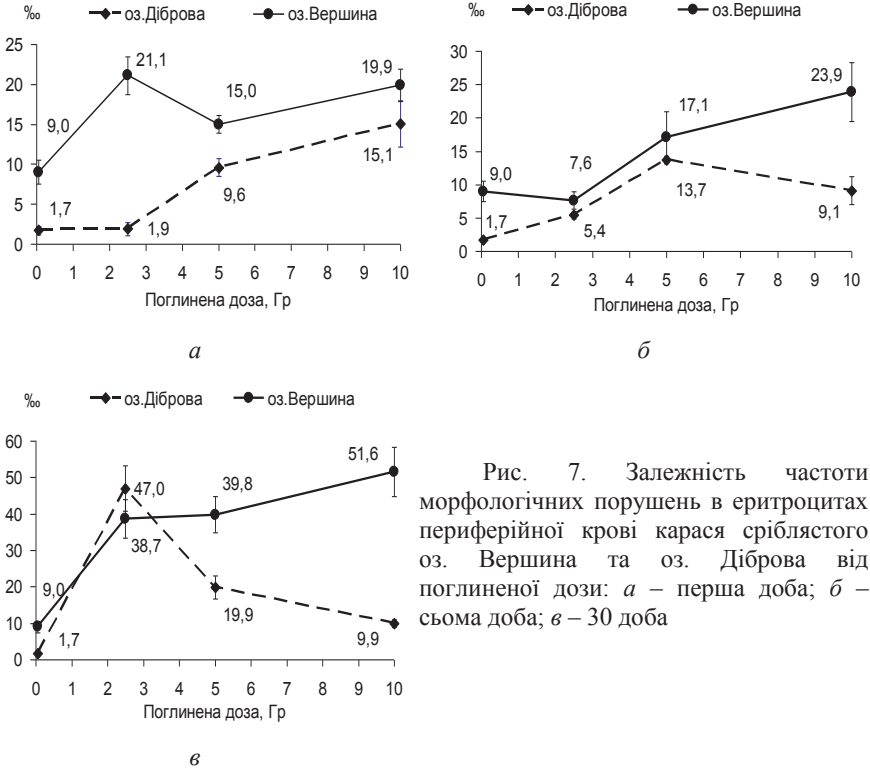


Рис. 7. Залежність частоти морфологічних порушень в еритроцитах периферійної крові карася сріблястого оз. Вершина та оз. Діброва від поглиненої дози: *а* – перша доба; *б* – сьома доба; *в* – 30 доба

Аналіз загальної кількості морфологічних порушень в еритроцитах риб оз. Вершина виявив її збільшення у середньому у 2,5 рази відносно контролю у тих вибірках риб, які були додатково опромінені у дозі 2,5 і 5,0 Гр. У вибірці, яку було опромінено у дозі 10,0 Гр, кількість деструктивних клітин збільшилась у 3,3 рази.

Виявлено, що швидкість відновлення порушень в клітинах крові прискорювалась у риб оз. Діброва за дози ДГО 5,0 і 10,0 Гр. За опромінення у дозі 2,5 Гр зареєстровано запізнілу реакцію клітин еритроцитарної ланки на додатковий радіаційний вплив.

**Показники кількості молодих еритроцитів.** Аналіз впливу ДГО на вихід молодих еритроїдних елементів крові риб показав, що у риб оз. Вершина ДГО у дозі 2,5, 5,0 і 10,0 Гр викликало посилення виходу молодих еритроїдних клітин, а у риб оз. Діброва, опроміненних у дозі 2,5 і 5,0 Гр – пригнічення і збільшення тривалості процесу відновлення. Проте, при опроміненні у дозі 10,0 Гр, процеси відновлення кількості еритроцитів посилювались вже на сьому добу експерименту.

**Склад клітин лейкоцитарного профілю.** Результати нашого експерименту свідчать про відносно швидке відновлення кількості лімфоцитів і лейкоцитів у периферійній крові риб як референтної водойми, так і оз. Вершина за ДГО у діапазоні доз 2,5–5,0 Гр, що може бути обумовлено певним посиленням імунних реакцій (рис. 8). Проте поглинена доза 10,0 Гр призвела до зниження кількості лейкоцитів у 1,5 рази у риб оз. Діброва і в 1,13 рази – у риб оз. Вершина.

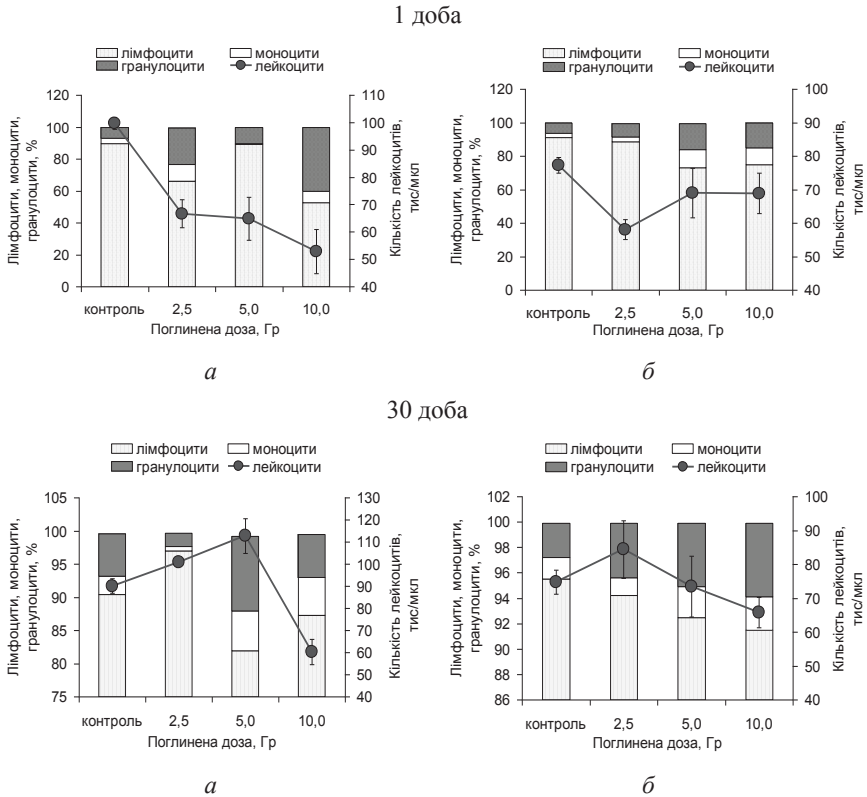


Рис. 8. Зміни показників клітин лейкоцитарної фракції периферійної крові карася сріблястого після ДГО: *а* – оз. Діброва; *б* – оз. Вершина

Це може свідчити про істотні порушення механізмів клітинної ланки неспецифічного захисту, пригнічення лейкопоезу, і, отже, зниження адаптивного потенціалу риб при опроміненні у досліджуваному діапазоні дозового навантаження. Тобто чутливість лейкоцитарної ланки периферійної

крові риб оз. Діброва до дії йонізуючого опромінення була вищою, ніж у риб оз. Вершина.

**Зміни гематологічних показників крові нирок.** Відновлення клітинної популяції кровотворних органів після опромінення є вкрай важливим процесом, необхідним для підтримки гемопоезу опроміненого організму. Дослідження показали, що після ДГО в лейкоцитарній формулі нирок реєструється більш виражений перерозподіл формених елементів крові у риб оз. Діброва, ніж оз. Вершина, який супроводжується стійким зниженням кількості лімфоцитів, збільшенням – нейтрофілів і клітин бластних форм за максимальної дози опромінення, але при цьому відмічено відновлення абсолютної кількості лейкоцитів наприкінці експерименту (рис. 9).

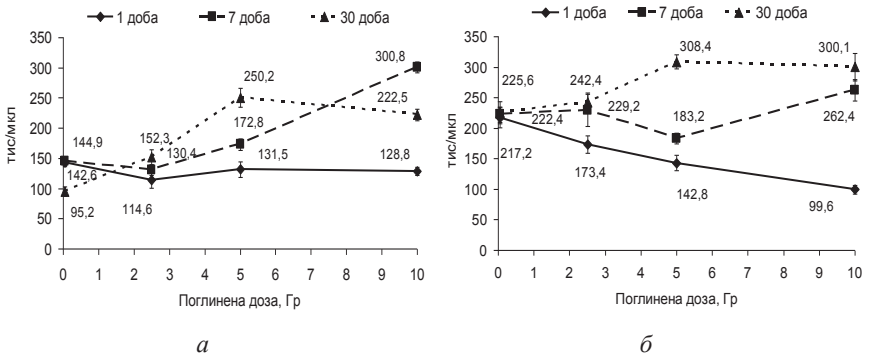


Рис. 9. Динаміка абсолютної кількості лейкоцитів у крові нирок карася сріблястого після ДГО: а – оз. Діброва, б – оз. Вершина

У риб оз. Вершина протягом експерименту спостерігали лише незначні коливання цих елементів у крові нирок, але аналіз абсолютної кількості лейкоцитів показав значну реакцію нирок на ДГО, а саме – різкий спад на першу добу експерименту і посилення лейкопоезу на 30 добу.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконаних досліджень з'ясовано особливості радіонуклідного забруднення та оцінено потужність поглиненої дози (ППД) йонізуючого опромінення для краснопірки звичайної (*Scardinius erythrophthalmus* L.), плітки звичайної (*Rutilus Rutilus* L.), окуня звичайного (*Perca fluviatilis* L.) і карася сріблястого (*Carassius gibelio* Bloch) у водоймах Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ). Встановлено зміни лейкоцитарної формули та порушення еритроцитів периферійної крові риб в умовах тривалого природного та додаткового гострого опромінення (ДГО).



1. Впродовж 2011–2017 рр. середні величини ППД для риб ЧЗВ становили: в оз. Глибоке для краснопірки – 54,1, окуня – 66,4, плітки – 67,3, карася сріблястого – 84,5 мкГр/год; в оз. Далеке для краснопірки – 6,5 мкГр/год; в оз. Азбучин для карася сріблястого 36,3 мкГр/год; в Янівському затоні для окуня – 7,8, плітки – 8,7 мкГр/год; у водоймі-охолоджувачі ЧАЕС для краснопірки – 7,4, окуня – 10,9, плітки – 17,4, карася сріблястого – 16,9 мкГр/год. У референтних водоймах ППД для риб реєстрували в межах 0,05–0,07 мкГр/год.

2. У градієнті зростання ППД у крові краснопірки, плітки, окуня і карася сріблястого лінійно знижувалась кількість лімфоцитів, відповідно на 6,7, 8,5, 11,2 і 41,9%, і збільшувалась кількість клітин гранулоцитарного ряду, відповідно на 5,4, 7,2, 10,8 і 36,2%, відносно загальної кількості клітин крові у риб контрольної вибірки.

3. Хронічне йонізувальне опромінення у дозі 36,3 і 84,5 мкГр/год, відповідно, у найбільш забруднених радіонуклідами озерах Азбучин і Глибоке спричиняло зменшення загальної кількості лейкоцитів у крові карася сріблястого в середньому в 1,3 рази порівняно з рибами референтних водойм.

4. Якісний аналіз еритроцитів крові риб у водоймах ЧЗВ виявив численні структурні порушення клітин червоної крові, а також порушення, пов'язані з патологією мітотичного ділення: деформацію ядер, пікноз, пристінкові ядра, цитоліз, мікроядра тощо. Кількість різних типів порушень еритроцитів зростала від 3–5 для риб референтних водойм до 11 для риб у водоймах з найбільшими рівнями радіонуклідного забруднення.

5. Збільшення кількості структурних пошкоджень еритроцитів і порушень, пов'язаних з патологією мітотичного ділення, з підвищенням ППД для всіх видів риб ЧЗВ носило дозозалежний характер, зростаючи за найбільших дозових навантажень у 5,0, 5,6, 10,7 і 13,8 разів, відповідно, для окуня, карася сріблястого, краснопірки і плотви порівняно з кількістю порушень у крові риб референтних водойм.

6. Одноразове ДГО у дозі 2,5, 5,0 і 10,0 Гр у крові карася сріблястого оз. Діброва (референтні умови, ППД – 0,07 мкГр/год) упродовж першої доби після опромінення спричиняло дозозалежне збільшення кількості структурних порушень еритроцитів з 1,7 до 1,9, 9,6 і 15,1%, відповідно (в середньому у 5,2 рази). У крові риб оз. Вершина (водойма у ЧЗВ, ППД – 110,8 мкГр/год) після ДГО середня кількість всіх типів деформацій клітин еритроцитів зросла у 2,1 рази. Загальний спектр порушень еритроцитів у риб оз. Діброва збільшився з 2 до 5 (у 2,5 рази), а оз. Вершина – з 4 до 6 типів (у 1,5 рази).

7. Після ДГО на сьому добу спостережень вірогідних дозозалежних змін кількості порушень еритроцитів у крові риб не виявлено, але спостерігали загальне зниження кількості порушень в середньому до 4,3 і 1,2 рази, відповідно, для риб озер Діброва і Вершина порівняно з першою добою експерименту. На 30 добу спостережень виявлено повторне зростання загальної

кількості порушень – в середньому до 9,1 і 2,8 разів, відповідно, у риб озер Діброва і Вершина порівняно з неопроміненим контролем.

8. ДГО викликає певні зміни лейкоцитарної формули крові риб: зниження кількості лімфоцитів у 1,3 і 1,2 разів та моноцитів у 1,9 і 3,1 разів, а також збільшення кількості гранулоцитів у 3,6 і 2,1 рази, відповідно, для риб озер Діброва і Вершина. Абсолютна кількість лейкоцитів у крові риб оз. Діброва знизилась у 1,6, а риб оз. Вершина – у 1,2 рази після ДГО впродовж першої доби спостережень. Швидкість відновлення лейкоцитарної фракції у периферійній крові була більш уповільненою для риб оз. Вершина.

9. Клітини лейкоцитарної і тромбоцитарної ланок периферійної крові риб, які мешкають в умовах хронічного впливу йонізуючого випромінювання у ЧЗВ, виявляють більшу стійкість до ДГО, на відміну від риб референтної водойми. Проте клітини червоної крові риб імпульсної водойми виявляють більшу уразливість до додаткового опромінювання, що проявляється у збільшенні кількості еритроцитів з патологією мітозу і може свідчити про порушення генетичних структур клітин внаслідок тривалого радіаційного впливу.

## СПИСОК ОСНОВНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті у фахових виданнях

1. **Поморцева Н. А.**, Родионова Н. К., Гудков Д. И. Клеточный состав периферической крови карася обыкновенного в водоемах Чернобыльской зоны отчуждения. Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Серія: Біологія. 2011. № 2 (47). С. 43–46. *(Збір та обробка матеріалу, участь у написанні статті)*.

2. Каглян О. Є., Гудков Д. І., Кленус В. Г., Широка З. О., Коробович А. П., **Поморцева Н. А.**, Яблонська Л. І., Назаров О. Б. Накопичення <sup>90</sup>Sr представниками «мирних» видів риб у водоймах Чернобыльської зони відчуження та інших водоймах України. Біологічні студії. 2011. 5, № 2. С. 113–120. *(Обробка матеріалу, узагальнення результатів, участь у написанні статті)*.

3. Каглян О. Є., Гудков Д. І., Кленус В. Г., Кузьменко М. І., Широка З. О., Ткаченко В. О., Мельник М. К., **Поморцева Н. А.**, Юрчук Л. П., Назаров О. Б. Сучасне радіонуклідне забруднення прісноводних риб України. Доповіді Нац. акад. наук України. 2011. № 12. С. 164–170. *(Збір та обробка матеріалу, участь у написанні статті)*.

4. Каглян О. Є., Гудков Д. І., Кленус В. Г., Широка З. О., Кузьменко М. І., **Поморцева Н. А.**, Ткаченко В. О., Коробович А. П., Шевцова Н. Л., Назаров О. Б., Яблонська Л. П., Юрчук Л. П. Дозові навантаження на риб від інкорпорованих радіонуклідів у Чернобыльській зоні відчуження. Вісник Львівського ун-ту. Серія біологічна. 2012. Вип. 58. С. 125–130. *(Відбір проб, обробка матеріалу, участь у написанні статті)*.

5. Каглян А. Е., Гудков Д. И., Кленус В. Г., Широкая З. О., **Поморцева Н. А.**, Юрчук Л. П., Назаров А. Б. Радионуклиды в аборигенных видах рыб Чернобыльской зоны отчуждения. Ядерна фіз. та енер. 2012. 13. №3. С. 306–315. (*Збір, обробка та аналіз матеріалу, участь у написанні статті*).

6. Gudkov D. I., Shevtsova N. L., Dzyubenko E. V., **Pomortseva N. A.**, Kireev S. I., Nazarov A. B. Problems of the Long-Term Radiation Exposure of Aquatic Biota within the Chernobyl Accident Exclusion Zone. The Lessons of Chernobyl: 25 Years Later / E.B. Burlakova, V.I. Naidich (Eds.). New York: Nova Science Publishers, Inc., 2012. P. 301–315. (*Відбір проб, узагальнення результатів, опис частини досліджень*).

7. Gudkov D. I., Dzyubenko E. V., Shevtsova N. L., **Pomortseva N. A.**, Kireev S. I., Nazarov A. B. Aquatic biota within the Chernobyl accident exclusion zone: consequences of the long-term radiation exposure. Radiobiology and Environmental Security Radiobiology and Environmental Security. C. Mothersill, V. Korogodina, C. Seymour (Eds.), NATO Science for Peace and Security, Series C: Environmental Security. Dordrecht: Springer, 2012. P. 233–244. (*Відбір проб та обробка матеріалу, участь в написанні статті*).

8. Mikryakov V. R., Gudkov D. I., Mikryakov D. V., **Pomortseva N. A.**, Balabanova L. V. 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. Journal of Ichthyology. 2013. Vol. 53, No 9. P. 753–757. (*Збір, обробка та аналіз даних, участь у написанні статті*).

9. **Поморцева Н. А.**, Гудков Д. И. Структурные нарушения форменных элементов крови у краснопёрки *Scardinius erythrophthalmus* при хроническом радиационном воздействии. Наук. зап. Терноп. нац. пед. університету. Серія: Біологія. 2015. № 3–4 (64). С. 532–535. (*Участь у відборі проб, узагальнення та аналіз матеріалу, написання статті*).

10. Gudkov D. I., Shevtsova N. L., **Pomortseva N. A.**, Dzyubenko E. V., Kaglyan A. E., Nazarov A. B. Radiation-induced cytogenetic and hematologic effects on aquatic biota within the Chernobyl exclusion zone. Journal of Environmental Radioactivity. 2016. Vol. 151. P. 438–448. (*Аналіз даних, узагальнення матеріалів і написання статті*).

11. Gudkov D. I., Shevtsova N. L., **Pomortseva N. A.**, Dzyubenko E. V., Yavnyuk A. A., Kaglyan A. Ye., Nazarov A. B. Aquatic plants and animals in the Chernobyl exclusion zone: effects of long-term radiation exposure on different levels of biological organization. Genetics, Evolution and Radiation. V. Korogodina, C. Mothersill, S. Inge-Vechtormov, C. Seymour (Eds.). Cham: Springer International Publishing AG. 2016. P. 287–302. (*Збір, обробка та аналіз матеріалу, написання статті*).

## Патенти

12. Патент UA №95746 C2 Україна, МПК G01T 1/16 (2006.01). Спосіб визначення ступеня максимального радіонуклідного забруднення іхтіофауни прісноводних водойм. Каглян О. Є., Гудков Д. І., Кленус В. Г., Широка З. О., Беляев В. В., **Поморцева Н. А.**, Юрчук Л. П. Промислова власність; опубл. 26.01.2011. Бюл. №16. 4 с. (*Участь у проведенні досліджень, узагальнення результатів, участь у написанні патенту*).

13. Патент UA №83038 U Україна. МПК G01T 1/16 (2006.01) Спосіб визначення питомої активності радіонуклідів в органах та тканинах риб за їх вмістом у плавцях. Каглян О. Є., Гудков Д. І., Кленус В. Г., Широка З. О., Кузьменко М. І., **Поморцева Н. А.**, Яблонська Л. І., Юрчук Л. П., Шевцова Н. Л.; опубл. 27.08.2013. Бюлетень №16. 4 с. (*Проведення патентного пошуку, аналіз матеріалу, участь у написанні патенту*).

## Матеріали та тези доповідей конференцій

1. Гудков Д. И., Шевцова Н. Л., Дзюбенко Е. В., **Поморцева Н. А.**, Назаров А. Б. Проблемы хронического радиационного воздействия на гидробионты Чернобыльской зоны отчуждения. *Современные проблемы радиобиологии: материалы международной научной конференции* (14–15 октября 2010 г., Гомель). Минск, 2010. С. 37–38. (*Польові дослідження, участь в аналізі отриманих даних*).

2. **Поморцева Н. А.**, Родионова Н. К., Гудков Д. И., Каглян А. Е., Назаров А. Б., Несторьяк Д. М., Савчук Н. В. Гематологические показатели краснопёрки (*Scardinius erythrophthalmus*) в водоемах Чернобыльской зоны отчуждения. Сборник докладов, выводы и рекомендации Межд. конф. «*Двадцать пять лет Чернобыльской катастрофы. Безопасность будущего*» (20–22 апреля 2011 г., Киев). Киев, 2011. Т. 1. С. 133–135 (213–216). (*Відбір матеріалів, інтерпретація отримання даних, написання тези*).

3. Гудков Д. И., Шевцова Н. Л., Дзюбенко Е. В., **Поморцева Н. А.**, Назаров А. Б. Влияние хронического низкодозового облучения на цитогенетические, гематологические и паразитологические показатели водной биоты. Тезисы докладов Международной конференции *Медико-биологические проблемы действия радиации* (10–11 апреля 2012 г., Москва). Москва, 2012. С. 6. (*Аналіз даних, узагальнення матеріалів і написання тези*).

4. Gudkov D., Kireev S., Nazarov A., Kaglyan A., Shevtsova N., Dzyubenko E., **Pomortseva N.** The main results of the comprehensive radioecological monitoring of aquatic ecosystems after Chernobyl nuclear power plant accident. Abstracts of the 12th International Conference on Radiation Shielding (ICRS-12) and 17th Topical Meeting of the Radiation Protection & Shielding Division of the American Nuclear Society (RPSD-2012) (2–7 September 2012, Nara (Japan). Nara, 2012. P. 208. (*Польові дослідження, участь в аналізі отриманих даних*).

5. **Поморцева Н. А.**, Гудков Д. И., Родионова Н. К., Каглян А. Е., Назаров А. Б. Патология эритроцитов и изменения лейкоцитарной формулы периферической крови рыб в Чернобыльской зоне отчуждения. *Малые дозы*. Матер. межд. научной конф. (26–28 сентября 2012 г., Гомель). Гомель, 2012. С. 98–101. (*Відбір проб, аналіз та інтерпретація отриманих даних*).

6. **Поморцева Н. А.**, Гудков Д. И., Родионова Н. К., Каглян А. Е. Изменения лейкоцитарной формулы и цитоморфологических показателей эритроцитов периферической крови рыб в Чернобыльской зоне отчуждения. Тези доповідей 20-ї Щорічної наук. конф. Ін-ту ядерних досліджень НАН України (28 січня – 01 лютого 2013 р., Київ). Київ, 2013. С. 152–153. (*Аналіз даних, узагальнення матеріалів і написання тези*).

7. **Поморцева Н. А.**, Гудков Д. И., Родионова Н. К., Каглян А. Е., Назаров А. Б. Состояние периферической крови рыб при хроническом радиационном воздействии. *Радіоекологія-2014*. Матер. науково-практ. конф. з міжнародною участю. (23–26 квітня 2014 р., Житомир). Київ, 2014. С. 214–219. (*Збір та обробка матеріалу, аналіз та інтерпретація отриманих даних*).

8. Gudkov D. I., Shevtsova N. L., Dzyubenko E. V., **Pomortseva N. A.**, Rodionova N. K., Kaglyan A. Ye., Nazarov A. B. Radiation-induced cytogenetic and hematologic effects on aquatic biota within the Chernobyl exclusion zone. Extended Abstracts of the International Conference on Radioecology & Environmental Radioactivity (7–12 September 2014, Barcelona (Spain)). Barcelona, 2014. ([https://intranet.pacificomeings.com/amsysweb/icefaces/resource/MTgyMDUwNjUwOA==/COMUNICACION\\_0\\_1405278061819.doc.pdf](https://intranet.pacificomeings.com/amsysweb/icefaces/resource/MTgyMDUwNjUwOA==/COMUNICACION_0_1405278061819.doc.pdf)). (*Польові дослідження, участь в аналізі отриманих даних*).

9. Гудков Д. И., Шевцова Н. Л., **Поморцева Н. А.**, Дзюбенко Е. В., Каглян А. Е. Воздействие хронических малых доз ионизирующего излучения на гидробиоту Чернобыльской зоны отчуждения. Материалы междунар. науч. конф. *Радиобиология: антропогенные излучения*. (25–26 сент. 2014 г., Гомель). Минск, 2014. С. 52–55. (*Аналіз даних, узагальнення матеріалів і написання тези*).

10. Гудков Д. И., **Поморцева Н. А.**, Дзюбенко Е. В., Шевцова Н. Л., Родионова Н. К., Каглян А. Е., Назаров А. Б. Эффекты хронического радиационного воздействия у гидробионтов Чернобыльской зоны отчуждения на различных уровнях организации биосистем. 7-й Съезд по радиационным исследованиям (*радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность*): тезисы докладов. (21–24 октября 2014, г. Москва). Москва, 2014. С. 250. (*Збір та обробка матеріалу, аналіз та інтерпретація отриманих даних*).

11. **Поморцева Н. А.**, Гудков Д. И. Качественные и количественные изменения клеточного состава периферической крови красноперки *Scardinius erythrophthalmus* при хроническом радиационном воздействии. Матер. науково-практичної конф. *Радіоекологія-2015. Радіоекологічні і радіобіологічні аспекти наслідків Чернобыльської катастрофи*. (24–26 квітня 2015 р. Житомир). Київ, 2015. С. 38–42. (*Відбір проб, узагальнення результатів, інтерпретація отриманих даних*).

12. Gudkov D. I., **Pomortseva N. A.**, Rodionova N. K. State of peripheral blood of fish in water bodies within the Chernobyl exclusion zone. Book of Abstracts of the Third International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research (*RAD 2015*). (8–12 June 2015, Budva (Montenegro)). Niš, 2015 (Serbia). ISBN 978-86-80300-00-9. P. 396. (*Збір, обробка та аналіз даних, участь у написанні тези*).

13. Gudkov D. I., Shevtsova N. L., **Pomortseva N. A.**, Dzyubenko E. V., Kaglyan A. Ye. Aquatic plants and animals in the Chernobyl exclusion zone: effects of long-term radiation exposure on different levels of biological organization. Meeting in St. Petersburg: Fourth International Conference, dedicated to N.W. Timofeeff-Ressovsky and His Scientific School *Modern problems of genetics, radiobiology, radioecology, and evolution* / fourth readings after V.I. Korogodin & V.A. Shevchenko; IUR Advanced Research Workshop *Radioecology Meets radiobiology: a Reappraisal of basic mechanisms of radiation*: Abstracts, papers by young scientists, (2–6 June 2015, St. Petersburg). Dubna: JINR, 2015. P. 111. (*Відбір проб, узагальнення результатів, інтерпретація отриманих даних*).

14. Gudkov D., Shevtsova N., **Pomortseva N.**, Dzyubenko E., Yavnyuk A., Balandina M., Shukalevich V., Nazarov A. Effects of long-term radiation exposure on aquatic biota in lentic ecosystems within the Chernobyl exclusion zone. Abstract Booklet of the COMET Workshop: *Thirty years after the Chernobyl accident what do we know about the effects of radiation on the environment?* (30 August – 01 September 2016, Chernigiv). Chernigiv, 2016. P. 14. (*Аналіз даних, узагальнення матеріалів і написання тези*).

15. **Поморцева Н. А.**, Гудков Д. И. Изменение клеточного состава периферической крови плотвы *Rutilus rutilus* при хроническом радиационном воздействии. Тези доповідей Науково-практичної конференції з міжнародною участю. *Ефекти радіації та інших ксенобіотиків на репродуктивну систему і організм* (4–7 жовтня 2016 р., м. Долина). Івано-Франківськ, 2016. С. 82. (*Відбір матеріалів, узагальнення та інтерпретація отримання даних*).

16. **Natalia Pomortseva**, Dmitri Gudkov, Alexander Kaglyan, Alexander Nazarov. Hematological parameters of the fish in water bodies within the Chernobyl exclusion zone. *Fifth Inter. Conf. on Radiation and Application in various fields of Research: RAD-2017 Proceedings* (June 12–16, 2017, Budva (Montenegro)). Niš (Serbia), 2017. P.189. (*Збір та обробка матеріалу, аналіз та інтерпретація отриманих даних*).

17. Gudkov D. I., **Pomortseva N. A.**, Shevtsova N. L., Dzyubenko E. V., Yavnyuk A. A., Kaglyan A.E., Nazarov A. B. Biomarkers of long-term radiation exposure in freshwater ecosystems within the Chernobyl exclusion zone. Abstract Book of the Advanced Research Workshop *BRITE (Biomarkers of Radiation In The Environment): Robust tools for risk assessment* (28–30 November 2017, Yerevan). Yerevan, 2017. P. 14. (*Збір, обробка та аналіз даних, участь у написанні тези*).

18. **Поморцева Н. А.**, Гудков Д. І. Зміни лейкоцитарної формули та патоморфологічні порушення еритроцитів плітки звичайної у водоймах Чорнобильської зони відчуження. XXV щорічна наук. конф. ін.-ту ядерних

досліджень НАН України: тези доповідей. (16–20 квітня 2018 р., Київ). Київ, 2018. С. 224–225. (*Відбір проб, обробка матеріалу, інтерпретація отримання даних*).

19. **Поморцева Н. А.**, Гудков Д. І. Гематологічні показники окуня звичайного та карася сріблястого в умовах водойм Чорнобильської зони відчуження. Збірник тез науково-практ. конф. *Чорнобильська катастрофа. Актуальні проблеми, напрямки та шляхи їх вирішення*. Житомир, (24–26 квітня 2018 р., Житомир). Житомир, 2018. С. 23–28. (*Збір, обробка та аналіз даних, інтерпретація отримання даних*).

20. Natalia Pomortseva, Dmitri Gudkov. The effect of additional acute radiation on haematological parameters of the crucian carp *Carassius gibelio* from the Chernobyl Exclusion Zone. *Sixth Inter. Conf. on Radiation and Application in various fields of Research: RAD-2018* (18-22 June 2018, Ohrid (Macedonia)). Niš (Serbia), 2018. P.175. (*Відбір проб, обробка матеріалу, інтерпретація отримання даних*).

## ПОДЯКИ

Авторка висловлює подяку своєму науковому керівнику, д.б.н. Д. І. Гудкову, своєму консультанту, к.б.н. Н. К. Родіоновій (Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р. Є. Кавецького НАН України), колегам з Інституту гідробіології НАН України та Державного спеціалізованого підприємства «Екоцентр» ДАЗВ України, а також всім, хто брав участь у відборі матеріалу, підготовці і проведенні експериментальних робіт, обговоренні та узагальненні матеріалів досліджень, а також надавав корисні поради, консультації та загальну підтримку.

## АНОТАЦІЯ

**Поморцева Н. А. Гематологічні показники риб у водоймах з різним рівнем радіонуклідного забруднення.** – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук (доктора філософії) зі спеціальності 03.00.10 – Іхтіологія. – Інститут гідробіології НАН України, Київ, 2019.

Досліджено особливості радіонуклідного забруднення та оцінено потужність поглиненої дози йонізуючого випромінювання для краснопірки (*Scardinius erythrophthalmus* L.), плітки звичайної (*Rutilus Rutilus* L.), окуня (*Perca fluviatilis* L.) і карася сріблястого (*Carassius gibelio* Bloch) у водоймах Чорнобильської зони відчуження. Проаналізовано зміни лейкоцитарної формули та цитогенетичні порушення еритроцитів периферійної крові риб в умовах тривалого природного та додаткового гострого опромінення.

Встановлено дозозалежне зростання кількості цитогенетичних і морфологічних порушень клітин еритроцитарної ланки, а також зміни лейкоцитарної формули і співвідношення формених елементів білої крові риб зі

збільшенням потужності поглиненої дози йонізуючого випромінювання в градієнті 0,05–84,5 мкГр/год.

З'ясовано, що клітини лейкоцитарної і тромбоцитарної ланок периферійної крові риб, які мешкають в умовах хронічного впливу йонізуючого випромінювання у водоймах Чорнобильської зони відчуження, виявляють більшу стійкість до додаткового гострого опромінювання у дозі 2,5, 5,0 і 10,0 Гр, на відміну від риб референтної водойми. Проте клітини червоної крові риб імпактної водойми виявляють більшу уразливість до додаткового опромінювання, що проявляється у збільшенні кількості еритроцитів з патологією мітозу і може свідчити про порушення генетичних структур клітин внаслідок тривалого радіаційного впливу.

**Ключові слова:** Чорнобильська зона відчуження, радіонуклідне забруднення, риби, потужність поглиненої дози, периферійна кров, лейкоцитарна формула, структурні порушення еритроцитів, радіоадаптація.

## АННОТАЦІЯ

**Поморцева Н. А. Гематологические показатели рыб в водоемах с различным уровнем радионуклидного загрязнения – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук (доктора философии) по специальности 03.00.10 – Ихтиология. – Институт гидробиологии НАН Украины, Киев, 2019.

На протяжении 2011–2017 гг. исследованы особенности радионуклидного загрязнения и оценена мощность поглощенной дозы (МПД) ионизирующего излучения для красноперки обыкновенной (*Scardinius erythrophthalmus* L.), плотвы обыкновенной (*Rutilus Rutilus* L.), окуня обыкновенного (*Perca fluviatilis* L.) и карася серебряного (*Carassius gibelio* Bloch) в водоемах Чернобыльской зоны отчуждения (ЧЗО). Проанализированы изменения лейкоцитарной формулы и цитогенетические нарушения эритроцитов периферической крови рыб в условиях хронического природного и дополнительного острого облучения (ДОО).

Средние величины МПД для рыб ЧЗО составили: в оз. Глубокое для красноперки – 54,1, окуня – 66,4, плотвы – 67,3, карася серебряного – 84,5 мкГр/ч; в оз. Далекое для красноперки – 6,5 мкГр/ч; в оз. Азбучин для карася серебряного – 36,3 мкГр/ч; в Яновском затоне для окуня – 7,8, плотвы – 8,7; в водоеме-охладителе ЧАЭС для красноперки – 7,4, окуня – 10,9, плотвы – 17,4, карася серебряного – 16,9 мкГр/час. В референтных водоемах МПД для рыб регистрировали в пределах 0,05–0,07 мкГр/час.

В градиенте возрастания МПД в крови красноперки, плотвы, окуня и карася серебряного линейно снижалось количество лимфоцитов, соответственно на 6,7, 8,5, 11,2 и 41,9%, и увеличивалось количество клеток гранулоцитарного ряда, соответственно на 5,4, 7,2, 10,8 и 36,2%, относительно общего количества клеток крови у рыб контрольной выборки. Хроническое ионизирующее облучение в дозе 36,3 и 84,5 мкГр/ч, соответственно, в наиболее



загрязненных радионуклидами озерах Азбучин и Глубокое, вызывало уменьшение общего количества лейкоцитов в крови карася серебряного в среднем в 1,3 раза, по сравнению с рыбами референтных водоемов.

Качественный анализ эритроцитов крови рыб в водоемах ЧЗО выявил многочисленные структурные нарушения клеток красной крови, а также нарушения, связанные с патологией митотического деления: деформация ядер, пикноз, пристеночные ядра, цитолиз, микроядра и др. Количество различных типов нарушений эритроцитов возрастало с 3–5 для рыб референтных водоемов до 11 для рыб в водоемах с наибольшими уровнями радионуклидного загрязнения. Увеличение количества структурных повреждений эритроцитов и нарушений, связанных с патологией митотического деления, с повышением ППД для всех видов рыб ЧЗО носило дозозависимый характер, возрастая при самых больших дозовых нагрузках в 5,0, 5,6, 10,7 и 13,8 раз, соответственно, для окуня, карася серебряного, красноперки и плотвы по сравнению с количеством нарушений в крови рыб референтных водоемов.

Однократное ДОО в дозе 2,5, 5,0 и 10,0 Гр в течение первых суток после облучения вызывало дозозависимое увеличение количества структурных нарушений эритроцитов в крови карася серебряного оз. Диброва (референтные условия, МПД – 0,07 мкГр/ч) с 1,7 до 1,9, 9,6 и 15,1%, соответственно (в среднем в 5,2 раза). В крови рыб оз. Вершина (водоем в ЧЗО, МПД 110,8 мкГр/ч) после ДОО среднее количество всех типов деформаций клеток эритроцитов возросло в 2,1 раза. Общий спектр нарушений эритроцитов у рыб оз. Диброва увеличился с 2 до 5 (в 2,5 раза), а оз. Вершина – с 4 до 6 типов (в 1,5 раза).

После ДОО на седьмые сутки наблюдений, достоверных дозозависимых изменений количества нарушений эритроцитов в крови рыб не выявлено, однако наблюдали снижение количества нарушений, в среднем до 4,3 и 1,2 раз, соответственно, в озерах Диброва и Вершина, по сравнению с первыми сутками эксперимента. На 30 сутки наблюдений обнаружен повторный рост общего количества нарушений – в среднем до 9,1 и 2,8 раза, соответственно, у рыб озера Диброва и Вершина, по сравнению с необлученным контролем.

ДОО вызвало определенные изменения лейкоцитарной формулы крови рыб: произошло снижение количества лимфоцитов в 1,3 и 1,2 раза и моноцитов в 1,9 и 3,1 раза, а также отмечено увеличение количества гранулоцитов в 3,6 и 2,1 раз, соответственно, для рыб озера Диброва и Вершина. Абсолютное количество лейкоцитов в крови рыб оз. Диброва снизилась в 1,6, а рыб оз. Вершина – в 1,2 раза после ДОО в течение первых суток наблюдений. Скорость восстановления лейкоцитарной фракции в периферической крови была более медленной для рыб оз. Вершина.

Таким образом, клетки лейкоцитарного и тромбоцитарного звена периферической крови рыб, обитающих в условиях хронического воздействия ионизирующего излучения в ЧЗО, проявляют большую устойчивость к ДОО, в отличие от рыб референтного водоема. Однако клетки красной крови рыб

импактного водоема проявляют большую чувствительность к дополнительному облучению, что проявляется в увеличении количества эритроцитов с патологией митоза и может свидетельствовать о нарушении генетических структур клеток вследствие длительного радиационного воздействия.

**Ключевые слова:** Чернобыльская зона отчуждения, радионуклидное загрязнение, рыбы, мощность поглощенной дозы, периферическая кровь, лейкоцитарная формула, структурные нарушения эритроцитов, радиоадаптация.

## ABSTRACT

**Pomortseva N. A. Haematological parameters of fish in water bodies with different levels of radioactive contamination.** – Manuscript.

Thesis for obtaining the Doctor of Philosophy degree (PhD) in Biological Science, specialty 03.00.10 – Ichthyology. – Institute of Hydrobiology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2019.

The peculiarities of radionuclide contamination and the absorbed dose rate of ionizing radiation for the common rudd (*Scardinius erythrophthalmus* L.), roach (*Rutilus Rutilus* L.), perch (*Perca fluviatilis* L.) and Prussian carp (*Carassius gibelio* Bloch) in water bodies within the Chernobyl Exclusion Zone are investigated. The changes of leukogram and violation of red blood cells of peripheral blood of fish in conditions of prolonged natural and additional acute irradiation are analyzed.

The dose-dependent growth of cytogenetic and morphological disorders of the cells of the erythrocyte chain, as well as changes in the leukogram and the ratio of the formed elements of white blood of fish with increase in the absorbed dose of ionizing radiation in the gradient 0.05–84.5  $\mu\text{Gy/h}$  was established.

It was found out that leukocyte and platelet cells in peripheral blood of fish living in conditions of chronic influence of ionizing radiation in waters bodies of the Chernobyl exclusion zone exhibit greater resistance to additional acute radiation dose of 2.5, 5.0 and 10.0 Gy in difference from the fish of the reference waters bodies. However, red blood cells of fish of the impact water bodies show greater vulnerability to additional exposure, which is manifested in an increase in the number of erythrocytes with pathology of mitosis and may indicate a violation of genetic structures of cells due to prolonged radiation exposure.

**Keywords:** Chernobyl Exclusion Zone, radioactive contamination, fish, absorbed dose rate, peripheral blood, leukogram, erythrocytes' structural disorders, radioadaptation.

---

Підп. до друку 03.01.2019. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Папір. офс. Гарнітура “Таймс”. Друк. офс.  
Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Зам. 686.

Віддруковано у ТОВ-Видавництві “ЛОГОС” із оригіналів автора.  
Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої справи Державного реєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції серія ДК № 201 від 27.09.2000 р.  
01030, Київ-30, вул. Богдана Хмельницького, 10, тел. 235-60-03