

# Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 1(37)

2026 г.

## Учредитель

Государственное учреждение  
«Республиканский научно-  
практический центр  
радиационной медицины  
и экологии человека»

## Журнал включен в

Перечень научных изданий  
Республики Беларусь  
для опубликования  
диссертационных исследований  
по медицинской  
и биологической  
отраслям науки  
(31.12.2009, протокол 25/1)

## Журнал зарегистрирован

Министерством информации  
Республики Беларусь,  
Свид. № 762 от 6.11.2009

Подписано в печать 19.03.26  
Формат 60×90/8. Бумага мелованная.  
Гарнитура «Times New Roman».  
Печать цифровая. Тираж 100 экз.  
Усл. печ. л. 14,5. Уч.-изд. л. 9,34.  
Зак. 158.

Издатель ГУ «Республиканский  
научно-практический центр  
радиационной медицины  
и экологии человека»  
Свидетельство N 1/410 от 14.08.2014

Отпечатано в  
КУП «Редакция газеты  
«Гомельская праўда»  
г. Гомель, ул. Полесская, 17а

ISSN 2074-2088

## Главный редактор, председатель редакционной коллегии

А.В. Рожко (д.м.н., профессор)

## Редакционная коллегия

В.В. Аничкин (д.м.н., профессор), В.Н. Беляковский (д.м.н., профессор), К.Н. Буздалкин (к.т.н., доцент), Н.Г. Власова (д.б.н., профессор, научный редактор), А.В. Величко (к.м.н., доцент), И.В. Веялкин (к.б.н., доцент), Н.Н. Веялкина (к.б.н., отв. секретарь), А.В. Воропаева (к.б.н., доцент), Д.И. Гавриленко (к.м.н.), М.О. Досина (к.б.н., доцент), А.В. Жарикова (к.м.н.), С.В. Зыблева (д.м.н., доцент), С.А. Игумнов (д.м.н., профессор), А.В. Коротаяев (к.м.н., доцент), А.Н. Лызикив (д.м.н., профессор), А.В. Макавич (к.м.н., доцент), С.Б. Мельнов (д.б.н., профессор), В.М. Мицура (д.м.н., профессор, зам. гл. редактора), Я.Л. Навменова (к.м.н., доцент), И.В. Назаренко (к.м.н., доцент), И.А. Новикова (д.м.н., профессор), Э.Н. Платошкин (к.м.н., доцент), Э.А. Повелица (к.м.н.), А.С. Подгорная (к.м.н.), Ю.И. Рожко (к.м.н., доцент), И.П. Ромашевская (к.м.н., доцент), А.П. Саливончик (к.б.н.), А.Е. Силин (к.б.н., доцент), А.Н. Стожаров (д.б.н., профессор), Р.М. Тахауов (д.м.н., профессор), Н.И. Шевченко (к.б.н., доцент), Ю.И. Ярец (д.м.н., доцент)

## Редакционный совет

А.В. Аклеев (д.м.н., профессор, Челябинск), О.В. Алейникова (д.м.н., чл.-кор. НАН РБ, Минск), С.С. Алексанин (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), Е.Л. Богдан (Минск), Л.А. Бокерия (д.м.н., академик РАН и РАМН, Москва), А.Ю. Бушманов (д.м.н., профессор, Москва), И.И. Дедов (д.м.н., академик РАМН, Москва), В.И. Жарко (Минск), К.В. Котенко (д.м.н., профессор, Москва), В.Ю. Кравцов (д.б.н., профессор, Санкт-Петербург), Н.Г. Кручинский (д.м.н., профессор, Пинск), Т.В. Мохорт (д.м.н., профессор, Минск), В.Ю. Рыбников (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), А.Л. Усс (д.м.н., профессор, Минск), В.А. Филонюк (д.м.н., профессор, Минск), Р.А. Часнойть (к.э.н., Минск), В.Д. Шило (Минск)

## Технический редактор

С.Н. Никонович

Корректор

Н.Н. Юрченко

Адрес редакции 246040 г. Гомель, ул. Ильича, д. 290,  
ГУ «РНПЦ РМ и ЭЧ», редакция журнала  
тел (0232) 38-95-00, факс (0232) 37-80-97  
<http://www.mbp.rcrm.by> e-mail: [mbp@rcrm.by](mailto:mbp@rcrm.by)

© Государственное учреждение  
«Республиканский научно-практический центр  
радиационной медицины и экологии человека», 2026

№ 1(37)

2026

# Medical and Biological Problems of Life Activity

Scientific and Practical Journal

## **Founder**

Republican Research Centre  
for Radiation Medicine  
and Human Ecology

Journal registration  
by the Ministry of information  
of Republic of Belarus

Certificate № 762 of 6.11.2009

© Republican Research Centre  
for Radiation Medicine  
and Human Ecology

**ISSN 2074-2088**

***40 лет после аварии на Чернобыльской атомной электростанции***

**А.В. Рожко, В.М. Мицура, А.В. Жарикова, С.В. Зыблева, Н.Н. Багинская, И.В. Назаренко**  
40 лет после аварии на ЧАЭС: роль ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека» в совершенствовании качества оказания медицинской помощи пострадавшему населению 5

**К.Н. Буздалькин, Н.Г. Власова**  
Закономерности формирования доз внутреннего облучения населения, подвергшегося радиационному воздействию в результате аварии на Чернобыльской АЭС 16

**С.А. Подберезко, С.Б. Мельнов**  
Цитогенетические эффекты ионизирующего излучения на гемоциты моллюсков из зоны отчуждения ЧАЭС 23

**Ю.В. Чайкова, И.В. Веялкин**  
Анализ риска развития злокачественных новообразований у персонала Полесского государственного радиационно-экологического заповедника 30

***Обзоры и проблемные статьи***

**О.П. Логинова**  
Микроэкология влагалища при цервикальной дисплазии: характеристика основных показателей (обзор литературы) 35

**М.М. Сулейко, Е.Г. Жук**  
Ультразвуковое исследование периферических нервов нижних конечностей, дополненное сдвиговой эластографией при диабетической полинейропатии (обзор литературы) 46

***Медико-биологические проблемы***

**К.Ю. Булда, Е.Л. Гасич, А.Д. Коско**  
Генотипический портрет SARS-COV-2 в Республике Беларусь в период 2020–2021 гг. 54

***40 years after Chernobyl nuclear power plant accident***

**A.V. Rozhko, V.M. Mitsura, A.V. Zharikova, S.V. Zybleva, N.N. Baginskaya, I.V. Nazaranka**  
40 years after the Chernobyl accident: the role of the State Institution «Republican Research Center for Radiation Medicine and Human Ecology» in improving the quality of medical care for the affected population 5

**C.N. Bouzdalkin, N.G. Vlasova**  
formation of internal irradiation doses to the population exposed to radiation as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant 16

**S.A. Podberezko, S.B. Melnov**  
Cytogenetic effects of ionizing radiation on hematocytes of mollusks from the Chernobyl exclusion zone 23

**Yu.V. Chaikova, I.V. Veyalkin**  
The risk of malignant neoplasms in the personnel of the Polesie State Radiation and Ecological Reserve 30

***Reviews and problem articles***

**V.P. Lohinava**  
Vaginal microecology in cervical dysplasia: characteristics of the main parameters (literature review) 35

**M.M. Suleiko, E.G. Zhuk**  
Ultrasound examination of the peripheral nerves of the lower extremities supplemented by shear wave elastography in diabetic polyneuropathy 46

***Medical-biological problems***

**K.Y. Bulda, E.L. Gasich, A.D. Kosko**  
Genotypic portrait of SARS-COV-2 in the Republic of Belarus in 2020–2021 54

**Клиническая медицина**

- С.М. Гридюшко, В.Л. Красильникова, О.Н. Дудич, А.М. Прудник**  
Дистанция «диск зрительного нерва — макула» как независимый предиктор рефракционных исходов после факоемульсификации с имплантацией иол 61
- А.О. Жарикова, Я.В. Мордовкина, Т.В. Бобр**  
Клинический случай обнаружения нап­ряжён­ной кисты хиазмально-селлярной области при обследовании пациента с глаукомой 69
- С.Н. Коваль, Е.В. Писпанен, О.А. Худякова, О.С. Ивашкевич**  
Анестезиологические аспекты оперативной коррекции ретинопатии недоношенных 76
- К.С. Комиссаров, О.В. Красько, В.С. Пилотович**  
Иммуноглобулин А-нефропатия: эпидемиология и клинические фенотипы в Республике Беларусь 85
- Ян Сунь, Вэнь Чэнь, Ли Чжан, Цзин Су, И.В. Назаренко, Д.И. Гавриленко, Лиган Цуй**  
Ультразвуковые характеристики лимфомы скелетных мышц (ретроспективное исследование) 92

**Обмен опытом**

- А.В. Доманцевич, Е.В. Давыдова, В.А. Доманцевич**  
Верификация диагноза при транзиторном остеопорозе и асептическом некрозе: сравнительный анализ возможностей современных методов лучевой диагностики 104
- Е.Ф. Мицура, Е.С. Тихонова, И.П. Ромашевская, С.А. Ходулева, А.Н. Демиденко, Е.В. Борисова**  
Синдром Фишера — Эванса в практике детского гематолога 112

**Clinical medicine**

- S.M. Gridjushko, V.L. Krasilnikova, O.N. Dudich, A.M. Prudnik**  
The «optic disc — macula» distance as an independent predictor of refractive outcomes after phacoemulsification with IOL implantation
- A.O. Zharikova, Ya.V. Mordovkina, T.V. Bobr**  
A clinical case of a tension cyst in the chiasmatal-sellar region during examination of a patient with glaucoma
- S.N. Koval, E.V. Pyspanen, V.A. Hudiakova, V.S. Ivashkevich**  
Anesthesiological aspects of surgical correction of retinopathy of prematurity
- K.S. Komissarov, O.V. Krasko, V.S. Pilotovich**  
Immunoglobulin A nephropathy: epidemiology and clinical phenotypes in the Republic of Belarus
- Yang Sun, Wen Chen, Li Zhang, Jing Su, I.V. Nazaranka, D.I. Haurylenka, Ligang Cui**  
Ultrasound Features in Skeletal Muscle Lymphoma: A Retrospective Observational Study

**Experience exchange**

- A.V. Domantsevich, E.V. Davydova, V.A. Domantsevich**  
Verification of the diagnosis of transient osteoporosis and aseptic necrosis: a comparative analysis of the possibilities of modern methods of radiation diagnosis
- E.F. Mitsura, E.S. Tihonova, I.P. Romashevskaya, S.A. Khoduleva, A.N. Demidenko, E.V. Borisova**  
Evans syndrome in the practice of a pediatric hematologist

## ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ГЕМОЦИТЫ МОЛЛЮСКОВ ИЗ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка», г. Минск, Беларусь;

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный университет физической культуры», г. Минск, Беларусь

Проведено исследование влияния <sup>90</sup>Sr на состояние генома большого прудовика (*Lymnaea stagnalis* L.) и морфологию клеток его гемолимфы. Оценка состояния генома проводилась на основании частот клеток с микроядрами, остатков гемоцитов, многоядерных гемоцитов, кариорексиса и апоптотических тел. Выполнен анализ особенностей биогеохимического поведения <sup>90</sup>Sr в водных экосистемах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС на основании отбора проб поверхностных вод, донных отложений, моллюсков. Выявлена корреляционная зависимость содержания данного радионуклида в системе «донные отложения — вода — раковина». Результаты исследования свидетельствуют о возможности обоснования и выбора особей большого прудовика в качестве маркерного объекта биоты для оценки радиационного воздействия и особенностей миграции <sup>90</sup>Sr на уровне региональных экосистем.

**Ключевые слова:** радиационное воздействие, биота, донные отложения, прудовик большой, микроядерный тест

### Введение

Оценка радиационного воздействия на объекты водной биоты включает радиоэкологическое обследование территорий, обобщение данных мониторинга радиационной обстановки и модельных оценок переноса радионуклидов в окружающей среде, идентификацию источников радиационного воздействия на объекты водной биоты, анализ критических путей воздействия, обоснование и выбор представительных объектов биоты с учётом региональных особенностей исследуемых водных экосистем [1].

Как правило, в качестве представительных объектов биоты рассматриваются организмы доминирующих видов основных трофических уровней региональной экосистемы с учётом внешнего и внутреннего путей облучения.

Внутреннему облучению в первую очередь подвержены организмы, являющиеся биоаккумуляторами определённых радионуклидов. Уровень воздействия ионизиру-

ющего излучения зависит и определяется преимущественно активностью <sup>90</sup>Sr в воде и донных отложениях, что приводит к его аккумуляции в раковине. Для учёта множественных путей радиационного воздействия необходимо рассматривать каждый из путей и оценивать его роль в формировании мощности дозы облучения объектов биоты. Мощность дозы зависит от удельной (объёмной) активности, распределения радионуклидов в водной экосистеме, размеров и особенностей поведения моллюсков, вида и энергии ионизирующего излучения [1].

В качестве референтных видов Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) рассматривает представителей почвенных беспозвоночных, земноводных, рыб, птиц и др. Перечень референтных видов может расширяться и пересматриваться в зависимости от географии исследований. При этом выбранные объекты не являются напрямую объектами радиационной защиты, а служат для сбора информации и последующего принятия ре-

шений. Такой подход позволяет учесть региональные особенности исследуемой экосистемы при невозможности оценить воздействие на каждый объект биоты. Результаты оценки используются при выработке решений о необходимости корректировки программ радиационного мониторинга, уменьшения радиационного воздействия путём обоснования нормативов выбросов и сбросов радиоактивных веществ [2].

Из представителей фауны на роль биоиндикатора радиоактивного загрязнения был выбран пресноводный моллюск — Большой прудовик (*Lymnaea stagnalis* L.). Данный вид моллюсков широко представлен в водоёмах на территории Беларуси, доступен для мониторинга, обладает способностью в процессе жизнедеятельности аккумулировать изотоп  $^{90}\text{Sr}$  из среды обитания в раковинах.

**Цель исследования** — определение содержания радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  в компонентах водоёмов на радиоактивно загрязнённой территории зоны отчуждения ЧАЭС, в биологической цепи «вода — донные отложения — раковина моллюсков» и выявление цитогенетических эффектов хронического низкодозового воздействия ионизирующего излучения в клетках гемолимфы моллюсков.

#### **Материал и методы исследования**

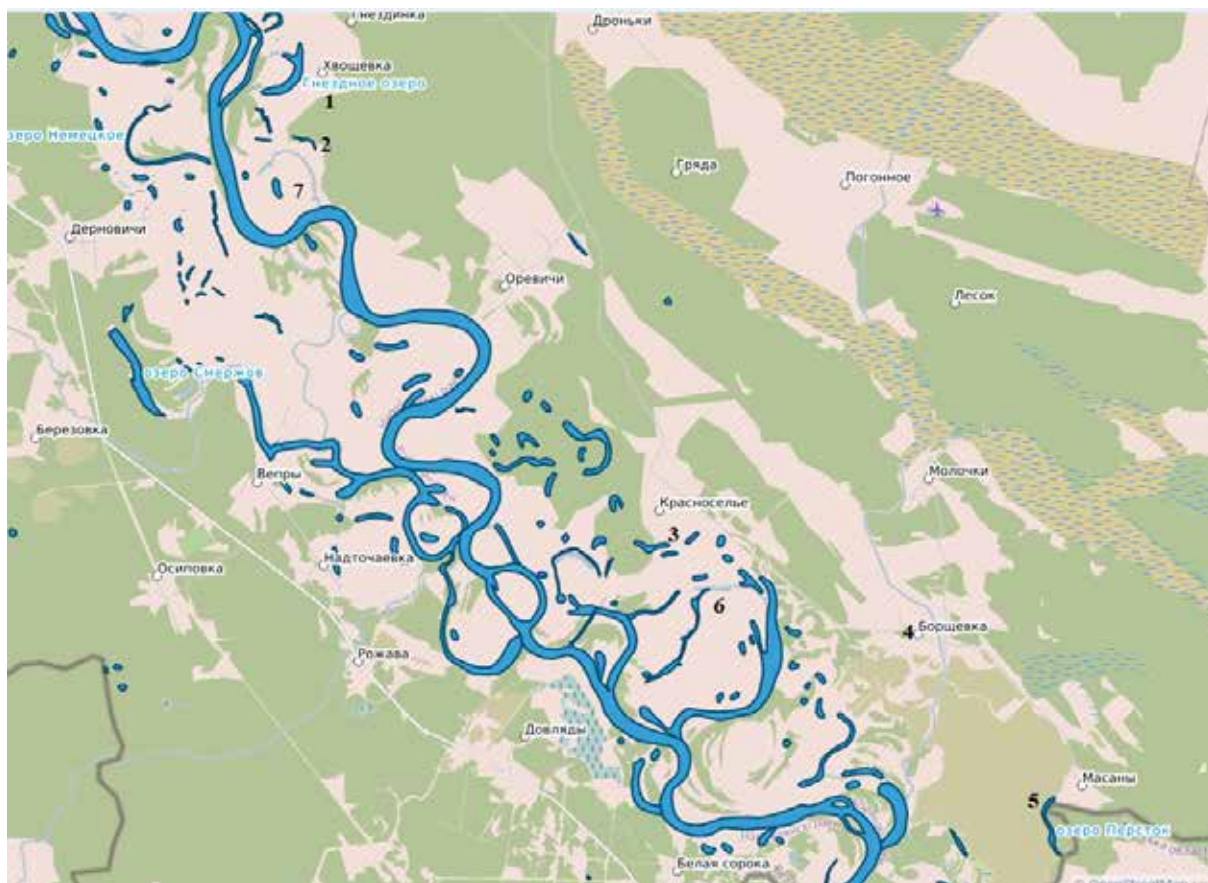
Полевые радиоэкологические исследования (2019–2021 гг.) заключались в определении параметров радиационной обстановки на исследуемых участках территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника и отборе проб донных отложений, поверхностных вод и особей *L. stagnalis*. Отбор проб произведён в соответствии с методическими указаниями и стандартом ISO 5667-1 [4]. Измерение мощности дозы гамма-излучения в воздухе в местах отбора проводилось на высоте 1 м и 3 см дозиметром-радиометром МКС-АТ1117. Для получения достоверных результатов проводилось пять последовательных измерений в каждой точке в соответствии с методикой. Для определения координат использовался спутниковый навигационный прибор «GARMIN».

Исследуемые водоёмы (1 — озеро Гнёздное, 2 — озеро Семеница, 3 — затока реки Припять (д. Красноселье), 4 — Борщёвское затопление (д. Борщёвка), 5 — озеро Персток (д. Масаны), 6 — Николаевский старик, 7 — озеро Золотой рог) расположены в границах Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ). Исследуемые водоёмы отражены на рисунке 1.

Объекты цитогенетического анализа — клетки гемолимфы лимнейд — гемоциты. У лёгочных моллюсков они выполняют в числе прочих иммунную функцию, поэтому от их функционирования во многом зависит жизнедеятельность всего организма. Эти клетки весьма чувствительны к внешним факторам, в т.ч. ионизирующей радиации. Как следствие, изменения структуры точечной популяции гемолимфы и характера морфологических модификаций её клеток и состояние генома могут служить тест-критериями неблагоприятных воздействий условий среды [6]. Микроядерный тест является интегральным биомаркером уровня загрязнения [7], генотоксического стресса и генетической нестабильности [9]. При этом, хотя микроядра сходны с основным ядром, по размерам значительно уступают ему, составляя не более 1/3 последнего [8].

Наличие микроядер в клетках свидетельствует о снижении их жизнеспособности в связи с частичной утратой генетического материала, а сами по себе микроядра являются маркером нестабильности генома, а также активизации процессов воспаления и апоптоза [10]. В норме большинство генетических нарушений элиминируется за счёт различных механизмов. Сохранение и накопление таких нарушений является индикатором стресса, ведущего к появлению аномальных клеток. Различными генетическими методами аномалии могут быть выявлены как на хромосомном, так и на молекулярном уровне [11].

Применение микроядерного теста на гемоцитах моллюсков позволяет быстро и эффективно оценить интегральную генотоксичность водной среды [5] и может вы-



**Рисунок 1** — Исследуемая территория белорусского сектора зоны отчуждения ЧАЭС [6]

ступать в качестве показателя мутагенного эффекта ионизирующей радиации [12].

Образцы гемолимфы фиксировали смесью 96%-го этилового спирта и ледяной уксусной кислоты в соотношении 3:1 и хранили при температуре  $-18\text{ C}$  не более 1 месяца. Пробы центрифугировали при 1000g в течение 10 минут. Супернатант сливали, осадок ресуспендировали и распивали на охлаждённое предметное стекло. Высушенные препараты окрашивали по методу Романовского — Гимза и исследовали с помощью светового микроскопа ( $\times 1000$ ) с использованием иммерсионной системы. На каждом препарате просматривали не менее 500 гемоцитов. Среди гемоцитов рассматривались клетки в норме и нарушенные гемоциты (микроядра, остатки гемоцитов, многоядерные гемоциты, кариорексис, апоптотические тела). Полученные данные после проверки на соответствие нормальному распределению обрабатывали следующими статистическими методами: коэффициентами ранговой

корреляции Спирмена и Кендала, параметрическим критерием Пирсона, двухсторонним t-критерием. За величину статистической значимости принимали  $p \leq 0,05$ . Оценку соответствия нормальному закону распределения выборок проводили с помощью критерия Колмогорова — Смирнова.

### **Результаты исследования**

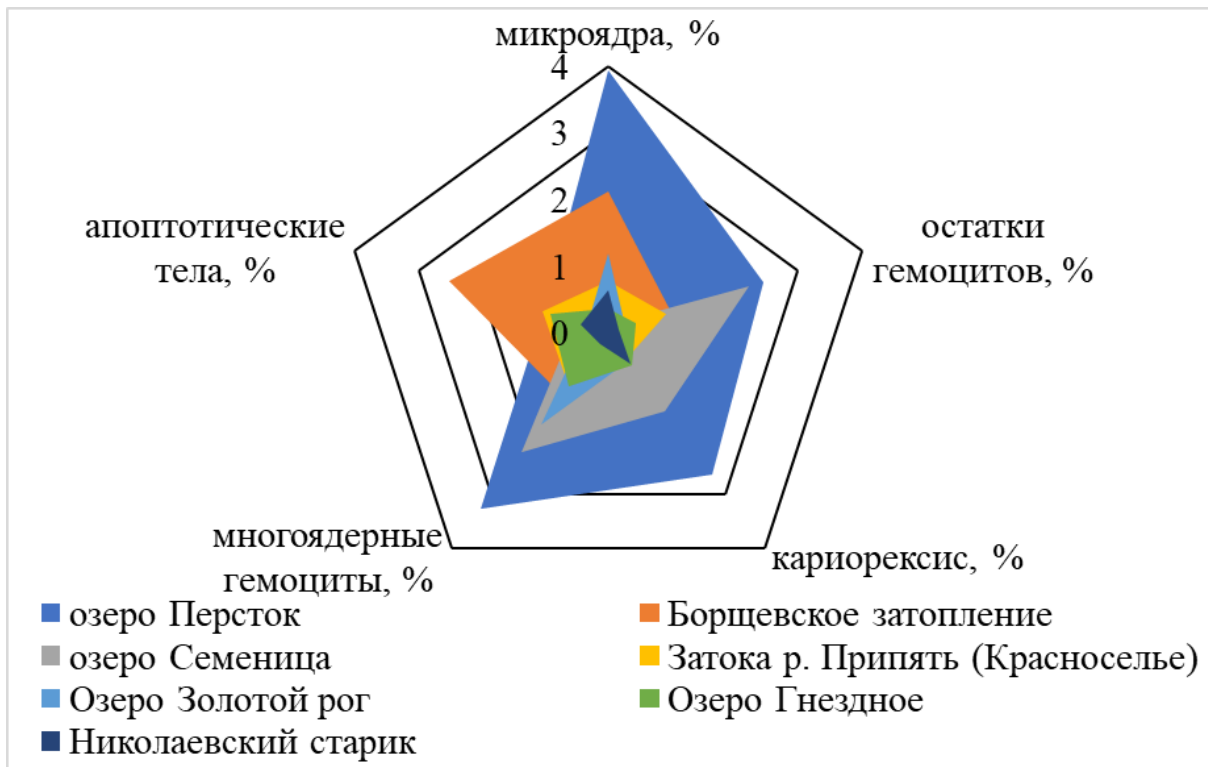
Общее количество обследованных гемоцитов отражено в таблице 1.

Наиболее часто встречаемые аномалии гемолимфы представлены цитогенетическими (микроядра), и морфологическими (остатки гемоцитов, многоядерные гемоциты, кариорексис, апоптотические тела) особенностями (рисунок 2).

Данные, однозначно свидетельствуют об увеличении частоты цитоморфологических нарушений в первую очередь у моллюсков озера Персток. Количество микроядер варьирует в исследуемых водоёмах от  $0,12 \pm 0,05\%$  (озеро Семенца)

**Таблица 1** — Количество обследованного материала

Места сбора	Количество препаратов	Количество клеток в анализе, шт	Микродря, %	Остатки гемочитов, %	Многоядерные гемочиты, %	Кариорексис, %	Апоптотические тела, %
озеро Персток	19	9500	3,94±1,74	2,45±1,21	3,27±0,42	2,64±0,48	1,02±0,34
Борщёвское затопление	10	5000	2,11±0,72	1,00±0,27	1,17±0,78	0,32±0,24	2,52±0,23
затока р. Припять	11	5500	0,78±0,54	0,91±0,25	1,00±0,9	0,48±0,88	1,03±0,02
озеро Гнёздное	8	6000	0,37±0,12	0,44±0,27	1,0±0,06	0,61±1,12	0,92±0,76
озеро Золотой рог	10	5000	1,2±0,04	0,27±0,08	1,7±0,82	0,52±2,1	0,34±0,19
Николаевский старик	11	5500	0,64±0,23	0,17±0,06	0,21±0,18	0,57±0,25	0,43±0,28
озеро Семеница	10	4500	0,12±0,05	2,23±0,24	2,21±0,42	1,45±0,52	0,52±0,27

**Рисунок 2** — Распространённость выявленных цитоморфологических нарушений клеток гемолимфы в группах сравнения

до 3,94±1,74% (озеро Персток), т.е. возрастает в 32,8 раза.

Наименьшая частота встречаемости разрушенных гемочитов (цитоплазматических остатков гемочитов) отмечалось у особей водоёма Николаевский старик — 0,17±0,06% и максимальное значение — у животных оз. Персток — 2,45±1,21%, что в 14,4 раза выше ( $p<0,05$ ). Кроме того, в 15,6 раза превышено значение многоядер-

ных гемочитов популяции озера Персток (3,27±0,42%), что достоверно отличается от частоты в Николаевском старике (0,21±0,18%,  $p<0,05$ ).

Кариорексис, морфологически выражающийся в распаде ядра клетки на «глыбки», имеет максимальное значение в популяции озера Персток (2,64±0,48%) и увеличен в 8,3 раза в сравнении с популяцией Борщёвского затопления (0,32±0,24%,  $p<0,05$ ).

По частоте апоптотические тела достигают максимального значения у прудовика Борщёвского затопления ( $2,52 \pm 0,23\%$  в 13,3 раза выше минимального), а минимальное значение ( $0,34 \pm 0,19\%$ ,  $p < 0,05$ ) — у моллюсков из Золотого рога. Таким образом, прямая взаимосвязь между частотой уровня кариорексиса и образованием апоптотических тел (что, казалось бы, является очевидным) в объектах Чернобыльской зоны отсутствует (данный факт нуждается в дальнейшем исследовании).

Далее по уровню распространения изучаемых нарушений следуют особи озера Семеница, где наблюдается сниженное количество микроядер ( $0,12 \pm 0,05\%$ ;  $p < 0,05$ ), однако, по количеству разрушенных гемоцитов ( $2,23 \pm 0,24\%$ ), кариорексису ( $1,45 \pm 0,52\%$ ) и многоядерным гемоцитам ( $2,21 \pm 0,42\%$ ) значения существенно выше и статически отличаются от таковых параметров моллюсков из Борщевского затопления. Таким образом, по-видимому, связь высокой частоты кариорексиса с радиационным воздействием имеет достаточно сложный характер и опосредуется также другими неблагоприятными факторами.

Динамика нарастания цитогенетических изменений гемоцитов прудовика тесно связана с ростом уровня  $^{90}\text{Sr}$  в раковине и свидетельствует о выраженном хроническом воздействии ионизирующего излучения на биоту даже в отдалённый поставарийный период.

При оценке учитывались следующие пути облучения: внешнее облучение от радионуклида, содержащегося в донных

отложениях и воде, а также внутреннего облучения от изотопа  $^{90}\text{Sr}$ , инкорпорированного в раковине. Такие расчёты важны для последующей сравнительной оценки уровней радиационного воздействия на разных участках радиоактивно загрязнённой территории. Результаты оценок актуальны в первую очередь для летнего периода, когда моллюски ведут активный образ жизни (таблица 2).

Для уточнения вклада донных отложений в накопления радиоактивного стронция в раковинах на трёх водоёмах проведён сравнительный анализ накопления  $^{90}\text{Sr}$  в воде и раковине моллюска с учётом накопления радионуклидов. Установлено, что между донными отложениями и накоплением  $^{90}\text{Sr}$  в раковине отмечена чёткая выраженная корреляция —  $r = 0,99$  ( $p < 0,01$ ), а с данными по воде и накоплением  $^{90}\text{Sr}$  в раковине коэффициент корреляции —  $r = 0,95$  ( $p < 0,05$ ), в паре «донные отложения — вода» и поступлением стронция —  $r = 0,97$  ( $p < 0,05$ ). По нашим данным, вода может рассматриваться как маркер активного поступления радиоактивного стронция в раковину.

Установлена явная взаимосвязь между рядом параметров цитогенетического статуса (микроядра, разрушенные гемоциты, кариорексис, многоядерные гемоциты, апоптотические тела) и накоплением  $^{90}\text{Sr}$  в раковине прудовика (таблица 3). Так, на фоне нарастания содержания  $^{90}\text{Sr}$  в раковине увеличивается количество микроядер в гемолимфе ( $r = 0,916$ ;  $p < 0,01$ ), отмечается умеренная связь между уровнем  $^{90}\text{Sr}$  в раковине и апоптотическими телами

**Таблица 2** — Содержание радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  в системе «донные отложения — вода — раковина моллюска»

Водоём	Донные отложения (Бк/кг)	Вода (Бк/л)	Раковина (Бк/кг)
озеро Персток	$510,0 \pm 106,0$	$13,3 \pm 0,7$	$62100,0 \pm 12400,0$
Борщёвское затопление	$128,0 \pm 30,2$	$8,4 \pm 0,4$	$7550,0 \pm 1510,0$
затока р. Припять	$34,0 \pm 12,0$	$5,0 \pm 0,3$	$401,0 \pm 85,0$
Николаевский старик	**	**	$911 \pm 182$
озеро Золотой рог	**	**	$127 \pm 40$
озеро Гнёздное	**	**	$124 \pm 39$
озеро Семеница	**	**	*

Примечание: \* — ниже минимально детектируемой активности; \*\* — не оценивалось

**Таблица 3** — Активность  $^{90}\text{Sr}$  в раковине прудовика и мощность дозы внутреннего облучения

Водоём	$^{90}\text{Sr}$ в раковине (Бк/кг)	Мощность дозы внутреннего облучения, мГр/сут
озеро Персток	62100±12400	1,073
Борщёвское затопление	7550±1510	0,130
Николаевский старик	911±182	0,016
затока р. Припять	401±85	0,007
озеро Золотой рог	127±40	0,0024
озеро Гнёздное	124±39	0,0024
озеро Семеница	*	**

Примечание: \* — ниже минимально детектируемой активности; \*\* — не оценивалось

( $r=0,464$ ;  $p>0,05$ ). Высокая положительная связь обнаружена в парах уровень  $^{90}\text{Sr}$  — кариорексис ( $r=0,869$ ,  $p<0,05$ ), уровень  $^{90}\text{Sr}$  — частота образования многоядерных гемцитов ( $r=0,765$ ,  $p<0,05$ ). В отношении остальных нарушений корреляционная связь существенно ниже (например, частота встречаемости разрушенных гемцитов и  $^{90}\text{Sr}$  ( $r=0,659$ ,  $p>0,05$ )).

### Заключение

Важным свойством экосистемы является её устойчивость — способность функционировать несмотря на наличие различных антропогенных факторов, часто варьирующих в широких пределах. Экосистемы в целом и их компоненты в частности обладают разной чувствительностью к внешнему воздействию. Организмы, которые являются естественными аккумуляторами радионуклидов, подходят для радиоэкологического анализа и мониторинга, поскольку характеризуются высокими уровнями содержания радионуклидов. С учётом современной радиоэкологической ситуации, функционирования предприятий ядерного топливного цикла особый интерес представляют результаты не только физических измерений параметров радиационной обстановки (мощность дозы, активность и др.), но и изучение радиобиологических и цитогенетических изменений в естественных популяциях животных в региональных экосистемах с различными уровнями радиационного воздействия. Такой подход соответствует эоцентрическому принципу, обеспечивает формирование базы данных оценки радиационных эффектов у

представителей фауны и разработку технологий радиационной защиты биоты.

По результатам исследования можно сделать вывод о сохранении достаточно высоких уровней удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  в донных отложениях закрытых водоёмов зоны отчуждения. Химические свойства  $^{90}\text{Sr}$ , его тропность к костной ткани приводят к аккумуляции изотопа в раковине (скелетном образовании) моллюска. В таком случае  $^{90}\text{Sr}$ , инкорпорированный в раковине, является источником дополнительного облучения тела моллюска бета-излучением с энергией до 2,2 МэВ на протяжении всего жизненного цикла с момента поступления. Данного воздействия, как показывают результаты, достаточно для дестабилизации генома и возникновения морфологических аномалий клеток гемолимфы *L. stagnalis* L. Результаты исследования относятся к упрощённому сценарию (совокупность фактов, допущений), позволяющему провести консервативную оценку радиационного воздействия. Дополнительных исследований требует анализ облучения тела моллюсков инкорпорированным изотопом  $^{137}\text{Cs}$ , который может также давать вклад в дозу внешнего и внутреннего облучения и, соответственно, приводить к возникновению аномалий клеток.

С одной стороны, исследование цитогенетических нарушений у лимнеид даёт возможность анализировать реакцию особей на воздействие ионизирующего излучения, а также ранжировать исследуемые водоёмы по уровню радиоактивного загрязнения. С другой — позволяет рассматривать лимнеид как достаточно перспек-

тивный объект исследований в биодозиметрии в качестве представительных объектов биоты для выбранной экосистемы и рекомендовать прудовика для включения в перечень референтных видов в соответствии с публикациями МКРЗ.

### Библиографический список

1. Рекомендации Р 52.18.820-2015 «Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки». – Обнинск, 2015. – 60 с.
2. ICRP - International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 108. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. Annals ICRP, 2009. – 251 p.
3. Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник»: [сайт]. – Минск, 2025–2026. – URL: <https://zapovednik.nextgis.com/resource/1/display?panel=layers> (дата обращения: 21.01.2026).
4. Качество воды. Отбор проб. Часть 1. Руководство по составлению программ отбора проб: СТБ ISO 5667-1: 2006 – Введ. 18.08.2006 – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2006. – 27 с.
5. Дромашко, С. Е. Влияние тяжелых металлов на большого прудовика *Lymnaea stagnalis* L. / С. Е. Дромашко, С. Н. Шевцова, А. С. Бабенко. – Минск: Беларуская навука, 2018. – 172 с.
6. Голубев, А. П. Динамика процессов радиоадаптации в популяциях моллюсков из водоемов белорусского сектора зоны загрязнения ЧАЭС / А. П. Голубев // Экологический вестник. – 2012. – №2 (20). – С. 44–57.
7. Орджоникидзе, К. Г. Способы оценки цитогенетического гомеостаза в природных популяциях животных на разных этапах онтогенеза / К. Г. Орджоникидзе, Т. Б. Демидова, Е. Ю. Крысанов // Онтогенез. – 2014. – Т. 45. – № 3. – С. 170 – 179.
8. Бродский, И. Б. Микроядра как маркеры хромосомных изменений клеток // И. Б. Бродский, С. А. Брянцева, А. М. Ковалева // Журнал фундаментальной медицины и биологии. – 2012. – №1. – С. 4–9.
9. Кисурина-Евгеньева, О. П. Биогенез микроядер / О. П. Кисурина-Евгеньева, О. И. Сутягина, Г. Е. Онищенко // Биохимия. – 2016. – Т. 81. – Вып. 5. – С. 612 – 624.
10. Колмакова, Т. С. Использование микроядерного теста для оценки эффективности лечения аллергии у детей: метод. рекомендации / Т. С. Колмакова, С. Н. Белик, Е. В. Моргуль. – Ростов н/Д: Изд-во Ростов. гос. мед. ун-т, 2013. – 31 с.
11. Захаров, В. М. Исследование гомеостаза развития в природных популяциях. Концепция здоровья среды: методология и практика оценки В. М. Захаров, Е. Ю. Крысанов, А. В. Пронин // Онтогенез. – 2017. – №48(6). – С. 418–432.
12. Подберезко, С. А. Динамика частоты микроядер гемолимфы *Lymnaea stagnalis* из водоемов с различной радиационной нагрузкой / С. А. Подберезко // Актуал. науч. исслед. в соврем. мире. – 2020. – №7. – С. 6–9.

S.A. Podberezko, S.B. Melnov

## CYTOGENETIC EFFECTS OF IONIZING RADIATION ON HEMATOCYTES OF MOLLUSKS FROM THE CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

A study was conducted to investigate the effects of  $^{90}\text{Sr}$  on the genome of the pond snail (*Lymnaea stagnalis* L.) and the morphology of its hemolymph cells. Genome status was assessed based on the frequencies of cells with micronuclei, hemocyte remnants, multinucleated hemocytes, karyorrhexis, and apoptotic bodies. An analysis of the biogeochemical behavior of  $^{90}\text{Sr}$  in aquatic ecosystems of the Chernobyl exclusion zone was performed based on sampling of surface water, bottom sediments, and mollusks. A correlation was found between the content of this radionuclide in the «bottom sediment-water-shell» system. The results of the study indicate the possibility of substantiating and selecting pond snail individuals as a marker biota for assessing radiation exposure and the characteristics of  $^{90}\text{Sr}$  migration at the level of regional ecosystems.

**Key words:** radiation exposure, biota, bioaccumulator, bottom sediments, pond snail, micronucleus assay

Поступила 13.03.26