

УДК [594.38:575.2](28)(477.41)

Д. И. ГУДКОВ<sup>1</sup>, Е. В. ДЗЮБЕНКО<sup>1</sup>, Т. В. ПИНКИНА<sup>2</sup>, Л. С. ЧЕПИГА<sup>3</sup>,  
А. Б. НАЗАРОВ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт гидробиологии НАН Украины  
пр-т Героев Сталинграда, 12, Киев, 04210, Украина

<sup>2</sup>Житомирский национальный агроэкологический университет  
Старый бульвар, 7, Житомир, 10008, Украина

<sup>3</sup>Национальный авиационный университет  
пр-т Космонавта Комарова, 1, Киев, 03058, Украина

<sup>4</sup>ГСНПП «Чернобыльский радиэкологический центр» МЧС Украины  
ул. Школьная, 6, Чернобыль, 07270, Украина

## **ЭФФЕКТЫ ХРОНИЧЕСКОГО НИЗКОДОЗОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ У ПРЭСНОВОДНЫХ МОЛЛЮСКОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ**

---

Проанализированы цитогенетические, гематологические, репродуктивные и морфологические показатели пресноводных моллюсков Чернобыльской зоны отчуждения в период 1998–2010 г.г.

*Ключевые слова:* пресноводные моллюски, Чернобыльская зона отчуждения, радионуклидное загрязнение, <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs, дозовые нагрузки, хромосомные aberrации, гемолимфа

Замкнутые водоемы Зоны отчуждения продолжают характеризоваться высокими уровнями радионуклидного загрязнения, несмотря на 26-летний период минувший после аварии на Чернобыльской АЭС. При этом концентрирование радиоактивных веществ водной биотой может обуславливать критические дозовые нагрузки на организмы, обладающие высокими коэффициентами накопления радионуклидов и/или обитающие в экологических зонах с повышенными уровнями внешнего облучения. Пресноводные моллюски способны накапливать практически все радионуклиды, присутствующие в среде обитания, а благодаря высокой биомассе, этим беспозвоночным принадлежит важная роль в процессах аккумуляции и биоседиментации радиоактивных веществ в пресноводных экосистемах. Основным дозообразующим радионуклидом для моллюсков Зоны отчуждения в настоящее время является <sup>90</sup>Sr – химический аналог кальция, накапливающийся в раковинах и, в значительных количествах, присутствующий в донных отложениях водоемов.

### **Материал и методы исследований**

Основные исследования выполнены в период 1998–2010 г.г. на следующих водоемах Зоны отчуждения: оз. Азбучин, Яновский затон, водоемы Красненской поймы р. Припять – Красненская старица, озера Глубокое и Далекое-1, а также реки Уж (с. Черевач) и Припять (г. Чернобыль). В качестве контрольных водоемов для сравнительного анализа цитогенетических, гематологических, морфометрических и репродуктивных показателей использовали ряд озер с фоновыми уровнями радионуклидного загрязнения, расположенных в г. Киеве и его окрестностях – Вырлица, Голосеевское, Опечень, Пидбирна, а также р. Тетерев (г. Житомир). Основным объектом радиобиологических исследований был прудовик обыкновенный *Lymnaea stagnalis* (L.).

Измерение удельной активности <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>238</sup>Pu, <sup>239+240</sup>Pu, <sup>241</sup>Am в пробах моллюсков и мощности внешней дозы  $\gamma$ -излучения выполняли при помощи методик изложенных в работе [1], оценку мощности поглощенной дозы от инкорпорированных в тканях и содержащихся в воде радионуклидов проводили по методике [2]. Для цитогенетических исследований использовали эмбрионы прудовика обыкновенного преимущественно на стадии трохофоры и велигера. Фиксацию материала осуществляли на месте отбора проб смесью этилового спирта и ледяной уксусной кислоты (3:1). Окраску цитологических препаратов выполняли 1% ацетоорсеином. Анализ частоты aberrаций хромосом в препаратах проводили в клетках на

стадиях анафазы и телофазы митоза [3]. Гематологические исследования выполняли с использованием мантийной жидкости моллюсков, фиксированной раствором Карнуа. Препараты окрашивали азур-эозином по Романовскому-Гимза [4]. Анализ соотношения различных групп гемоцитов и их классификацию выполняли по методике [5].

### Результаты исследований и их обсуждение

Мощность поглощенной дозы для взрослых моллюсков за счет внешних и внутренних источников облучения за период исследований регистрировали в следующих диапазонах: оз. Глубокое – 30–85; оз. Азбучин – 18–27; оз. Далекое-1 – 12–20; Яновский затон – 6–12; р. Припять – 0,5–0,7; р. Уж – 0,3–0,5; контрольные водоемы – 0,03–0,04 мкГр/ч.

Выполненные цитогенетические исследования свидетельствуют о повышенном уровне aberrаций хромосом у прудовиков из замкнутых водоемов Зоны отчуждения по сравнению с моллюсками контрольных озер. За период исследований наибольшие значения зарегистрированы для беспозвоночных оз. Глубокое, в клетках которых частота aberrаций в 2001 г. достигала 27%, что более чем в 10 раз превышает уровень спонтанного мутагенеза для водных организмов. Средние значения для моллюсков из наиболее загрязненных озер Зоны отчуждения составляли около 23%, 21, 20 и 18%, соответственно для озер Азбучин, Далекое-1, Глубокое и Яновского затона. Эмбрионы моллюсков в реках Уж и Припять характеризовались сравнительно невысоким средним уровнем aberrантных клеток, который составлял соответственно 2,5% и 3,5%. Для моллюсков контрольных озер этот показатель равнялся в среднем около 1,5%, с максимальными значениями до 2,3% (рис. 1).

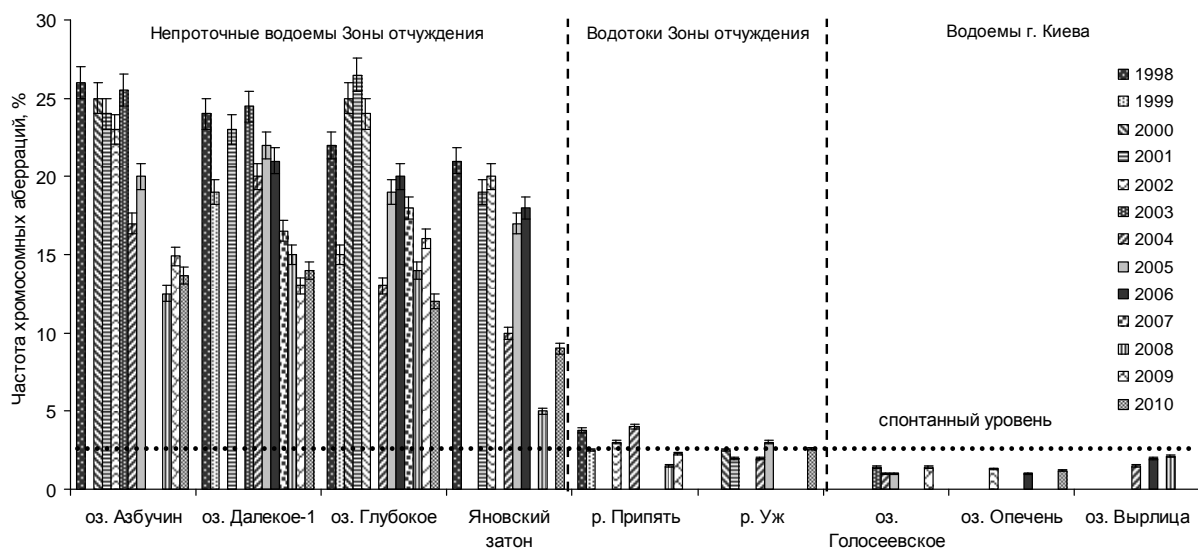


Рис. 1. Частота хромосомных aberrаций у эмбрионов *L. stagnalis* в водоемах Зоны отчуждения и озерах г. Киева в период 1998–2010 г.г.

На протяжении 1998–2010 г.г. отмечена тенденция снижения частоты хромосомных aberrаций в эмбрионах прудовиков, отобранных в замкнутых водоемах Зоны отчуждения. Выполненный регрессионный анализ имеющихся данных позволил получить прогнозные оценки снижения частоты хромосомных aberrаций у моллюсков исследуемых водоемов до спонтанного уровня (2,0–2,5%) [6], присущего водным организмам в условиях естественного радиационного фона. По нашим данным, в озерах, расположенных на территории левобережной поймы р. Припять (оз. Глубокое и оз. Далекое-1), наиболее загрязненной радионуклидами, спонтанный уровень частоты хромосомных aberrаций может быть достигнут в 60-х–70-х годах, а в Яновском затоне и оз. Азбучин – в 20-х–30-х годах текущего столетия.

Наиболее высокую достоверность имеет экспоненциальная экстраполяция данных, полученных за 13-летний период для моллюсков оз. Азбучин ( $R^2 = 0,758$ ). Результаты вычислений для других замкнутых водоемов имеют невысокую достоверность аппроксимации ( $R^2 = 0,196, 0,384$  и  $0,488$  соответственно для озер Глубокое, Далекое-1 и Яновского затона),

однако заслуживают внимания, поскольку прогноз частоты хромосомных aberrаций для Яновского затона подобен таковому для оз. Азбучин. А поскольку эти водоемы имеют сходные тенденции процессов самоочищения это может влиять на динамику частоты хромосомных aberrаций у моллюсков. В озерах Глубокое и Далекое-1 более медленные темпы снижения частоты хромосомных aberrаций могут быть обусловлены особенностями динамики удельной активности радионуклидов в компонентах экосистем, свидетельствующие о стагнации автореабилитационных процессов на одамбированной территории левобережной поймы р. Припяти.

Сравнительный анализ состава форменных элементов гемолимфы прудовика обыкновенного показал, что у моллюсков из замкнутых водоемов Зоны отчуждения доля мертвых агранулоцитов достигает 43,8%, а количество фагоцитарных – 45,0%. Аналогичные показатели у моллюсков из контрольных водоемов были значительно ниже и составили соответственно в среднем около 5,3 и 4,2%. Количество молодых амeboцитов у моллюсков Зоны отчуждения было, наоборот, невысоким – до 20%, в то время как у моллюсков контрольных водоемов достигало 89,6% (рис. 2). В целом анализ форменных элементов мантийной жидкости исследованных прудовиков свидетельствует о существенном изменении состава гемолимфы моллюсков из наиболее загрязненных озер Зоны отчуждения.

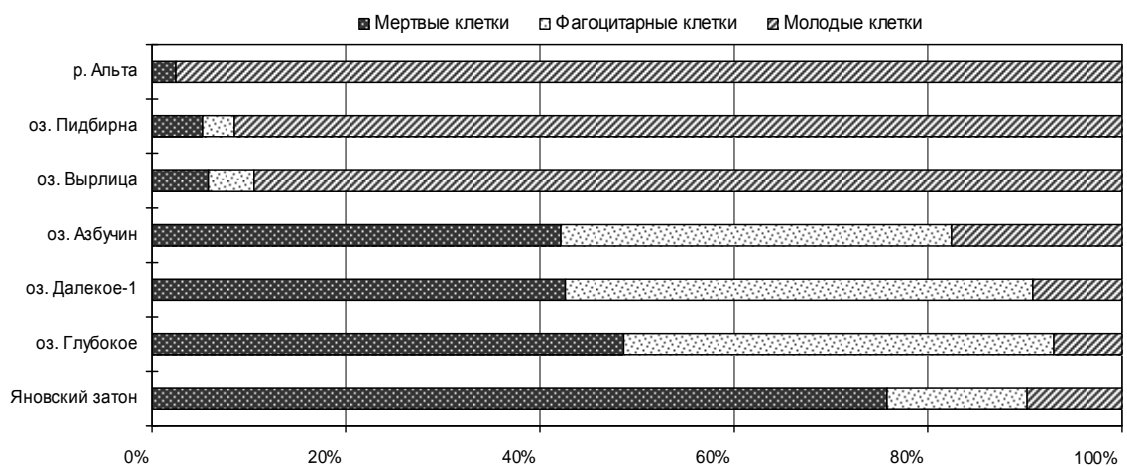


Рис. 2. Состав форменных элементов мантийной жидкости прудовика обыкновенного в водоемах Зоны отчуждения и контрольных водоемах в 2007–2008 г.г.

На протяжении 2009–2010 г.г. анализировали морфологические показатели и наличие аномалий кладок прудовика обыкновенного: деспирализацию или слабую спирализацию тяжа с яйцевыми капсулами; многорядность размещения яйцевых капсул в синкапсуле; рыхлое размещение яйцевых капсул; сдвоенные яйцевые капсулы; многозиготность яйцевых капсул; яйцевые капсулы без зигот; зиготы вне синкапсул; яйцевые капсулы больших или меньших размеров, а также неправильной формы (табл.).

Таблица

Морфологические показатели и тератогенные нарушения кладок прудовика обыкновенного в водоемах Зоны отчуждения в 2009–2010 г.г.

Показатель	Контроль	Яновский затон	Озеро Глубокое	Озеро Далекое-1	Озеро Азбучин	Река Припять
Длина синкапсулы, мм	33,5	26,3	30,0	27,8	31,3	31,8
Длина яйцевых капсул, мм	1,35	1,16	1,29	1,22	1,22	1,31
Количество яйцевых капсул, экз.	106	75	93	89	101	99
Аномалии развития яйцевых капсул, %	0,8	23,6	9,2	2,4	1,6	—*

Примечание. \* – анализ не проводили

В результате исследований выявлено, что морфологические показатели кладок моллюсков из водоемов Зоны отчуждения достоверно ниже контрольных. В импактных водных объектах зарегистрирован высокий процент следующих типов аномалий: отсутствие яйцеклетки в яйцевой капсуле; слабая спирализация тяжа с яйцевыми капсулами; многозиготность яйцевых капсул; однорядное размещение яйцевых капсул; малое количество яйцевых капсул в синкапсуле; наличие яйцеклеток и яйцевых капсул за пределами синкапсулы. Соотношение количества нарушений в строении кладок прудовиков из водоемов Зоны отчуждения в сравнении с контрольной группой в среднем составляет 1:12.

В замкнутых водоемах Зоны отчуждения отмечен повышенный процент аномальных раковин прудовиков с различными формами искривления последнего оборота, чаще всего в виде ступенчатой (до 0,5 см) деформации, возникающей, как правило, на втором году жизни моллюсков. В Яновском затоне доля аномальных раковин была максимальной и составила 58,3%, в оз. Глубокое – 48,9%, в Красненской старице (на территории одамбированного участка) – 25,0%, в оз. Далекое-1 – 10%, в оз. Азбучин – 2,8%, в р. Припять (г. Чернобыль) – 1,1%. В 5-ти контрольных водных объектах аналогичные аномалии или отсутствовали, или не превышали 0,7%. В настоящее время нами не зарегистрировано достоверной зависимости между количеством деформированных раковин в водоеме и мощностью поглощенной дозы облучения. Мы можем лишь констатировать высокий уровень аномалий раковин в наиболее загрязненных радионуклидами водоемах Зоны отчуждения. Одним из возможных объяснений наблюдаемого явления могут быть повышенные дозы внешнего облучения, которые моллюски получают в период зимовки в донных отложениях водоемов.

## **Выводы**

Радиобиологические исследования прудовика обыкновенного в водоемах Чернобыльской Зоны отчуждения свидетельствуют о негативном воздействии хронического низкодозового облучения на организм моллюсков, проявляющемся как на цитогенетическом, так и на соматическом уровне, а также отражающемся на репродуктивной функции. Данные цитогенетических и гематологических исследований продемонстрировали высокий уровень aberrаций хромосом в эмбриональных тканях, а также существенное изменение состава гемолимфы взрослых особей моллюсков в наиболее загрязненных радионуклидами водных объектах. Частота aberrаций хромосом в тканях моллюсков, обитающих в замкнутых водоемах Зоны отчуждения, многократно превышает уровень спонтанного мутагенеза для водных организмов и может быть проявлением радиационно-индуцируемой генетической нестабильности. Прудовик обыкновенный может быть использован в качестве одного из референтных гидробионтов при разработке положений охраны окружающей среды от ионизирующего излучения с использованием основанного на биоте стандарта.

1. *Гудков Д. И.* Радиозкологические исследования пресноводных моллюсков в Чернобыльской зоне отчуждения / Д. И. Гудков, А. Б. Назаров, Е. В. Дзюбенко [и др.] // Радиационная биология. Радиозкология. – 2009. – Т. 49, № 6 – С. 703–713.
2. Handbook for assessment of the exposure of biota to ionising radiation from radionuclides in the environment / [Eds. J. Brown, P. Strand, A. Hosseini, P. Børretzen.]. – Project within the EC 5th Framework Programme, Contract № FIGE–CT–2000–00102. – Stockholm : Framework for Assessment of Environmental Impact, 2003. – 395 p.
3. *Паушева З. П.* Практикум по цитологии растений / З. П. Паушева. – М. : Колос, 1974. – 288 с.
4. Persistence of micronuclei in the marine mussel, *Mytilus galloprovincialis*, after treatment with mitomycin / [F. Majone, R. Brunetti, I. Gola, A. G. Levis] // *Mutat. Res.*, 1987. – Vol. 191, № 3–4. – P. 157–161.
5. *Дзюбо С. М.* Морфология амебоцитов гемолимфы приморского гребешка / С. М. Дзюбо, Л. Г. Романова // *Цитология*. – 1992. – Т. 34, № 10. – С. 52–58.
6. *Tsytsugina V. G.* An indicator of radiation effects in natural populations of aquatic organisms / V. G. Tsytsugina // *Radiat. Protect. Dosim.* – 1998. – Vol. 75, № 1–4. – P. 171–173.

*Д. І. Гудков<sup>1</sup>, Е. В. Дзюбенко<sup>1</sup>, Т. В. Пінкіна<sup>2</sup>, Л. С. Ченіга<sup>3</sup>, А. Б. Назаров<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Інститут гідробіології НАН України

<sup>2</sup>Житомирський національний агроекологічний університет

<sup>3</sup>Національний авіаційний університет

<sup>4</sup>ГСНПП «Чорнобильський радіоекологічний центр» МНС України

## ЕФЕКТИ ХРОНІЧНОГО НИЗЬКОДОЗОВОГО ОПРОМІНЕННЯ У ПРІСНОВОДНИХ МОЛЮСКІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

Проаналізовано цитогенетичні, гематологічні, репродуктивні та морфологічні показники прісноводних молюсків у Чорнобильській зоні відчуження впродовж 1998–2010 р.р.

*Ключові слова: прісноводні молюски, Чорнобильська зона відчуження, радіонуклідне забруднення, <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs, дозові навантаження, хромосомні аберації, гемолімфа*

*D. I. Gudkov<sup>1</sup>, Y. V. Dzyubenko<sup>1</sup>, T. V. Pinkina<sup>2</sup>, L. S. Chepiga<sup>3</sup>, A. B. Nazarov<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine

<sup>2</sup>Zhytomyr state agroecological University

<sup>3</sup>National Aviation University

<sup>4</sup>Chernobyl radioecological center of Ukraine

## THE EFFECTS OF CHRONIC LOW-DOSE RADIATION ON FRESHWATER MOLLUSKS IN CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

Cytogenetical, hematological, reproductive and morphological parameters of freshwater mollusks within the Chernobyl exclusion zone during 1998–2010 were analyzed.

*Key words: freshwater mollusks, Chernobyl exclusion zone, radioactive contamination, <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs, dose rate, chromosomal aberrations, hemolymph*