

ГИДРОБИОНТЫ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС: ДОЗОВЫЕ НАГРУЗКИ И ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

Д. И. Гудков, А. Б. Назаров, М. Г. Мардаревич, Е. В. Сивак

*Институт гидробиологии НАН Украины, Киев
ГСНПП "Чернобыльский радиэкологический центр" МЧС Украины, Чернобыль*

В 2000 – 2004 гг. оценивали мощность поглощенной дозы для гидробионтов, обитающих в литоральной зоне водных объектов зоны отчуждения ЧАЭС. Максимальные значения (до 3,4 Гр/год) отмечены для озер одамбированного участка левобережной поймы р. Припять, минимальные (около 1,8 мГр/год) – для проточных водных объектов – рек Уж и Припять. Соотношение доз внешнего и внутреннего облучения существенно варьировало и зависело от уровня содержания γ -излучающих радионуклидов в донных отложениях литоральной зоны, а также в почвах, прилегающих к береговой линии. В клетках гидробионтов из водоемов зоны отчуждения зарегистрирован повышенный уровень хромосомного мутагенеза.

Введение

Дозиметрические и радиобиологические исследования гидробионтов, обитающих в разнообразных условиях формирования дозовых нагрузок в водоемах зоны отчуждения ЧАЭС, относятся к недостаточно изученным областям науки. Существующие немногочисленные работы, посвященные анализу радиационного воздействия на водные организмы зоны отчуждения, в большинстве не сопровождаются данными дозиметрии, что затрудняет научно обоснованное сопоставление наблюдаемых (или отсутствующих) эффектов с величиной мощности поглощенной дозы. В настоящей работе предпринята попытка оценить дозовые нагрузки, обусловленные внешними источниками облучения и радионуклидами, инкорпорированными в тканях гидробионтов различного систематического положения и трофического уровня; изучить особенности формирования поглощенной дозы при обитании в водоемах различного типа, с различным составом и уровнем радионуклидного загрязнения, а также оценить интенсивность хромосомного мутагенеза в тканях эмбрионов пресноводных моллюсков на примере прудовика обыкновенного (*Limnea stagnalis* L.) и на икре некоторых видов карповых рыб.

Объекты и методы исследований

Исследования выполняли в период 2000 – 2004 гг. Измерение внешнего γ -фона и отбор проб гидробионтов для определения содержания радионуклидов и цитогенетических исследований проводили в прибрежной зоне пойменных озер р. Припять – Азбучин, Глубокое и Далекое-1, а также в Яновском (Припятском) затоне, в пруду-охладителе ЧАЭС, реках Уж и Припять на участках, входящих в 30-километровую зону отчуждения (рис. 1). Мощность внешней дозы γ -излучения измеряли при помощи дозиметров ДКС-01 "СЭЛВИС" и СРП-68-03. Измерение содержания ^{137}Cs в пробах проводили при помощи γ -спектрометрического комплекса в составе детектора PGT IGC-25 (Франция), анализатора "Nokia LP 4900 B" ("Nokia", Финляндия), источника низковольтного питания – крейт NIM BIN, усилителя NU 8210 ("Elektronikus Merokeszulekek Gyara", Венгрия) и свинцовой защиты толщиной 100 мм. Для определения содержания ^{90}Sr использовали низкофоновый β -радиометр NRR-610 ("Tesla", Чехия). Минимальная детектируемая активность прибора составляет 0,04 Бк при экспозиции препарата 1000 с. Определение содержания ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ в электролитически приготовленных препаратах осуществляли с использованием α -спектрометрического тракта, в составе камеры с детектором, системы электропитания, вакуумной системы и анализатора импульсов NUC-8192 ("Elektronikus Merokeszulekek



Рис. 1. Схема водоемов зоны отчуждения ЧАЭС.

Guara", Венгрия), собранного из электронных блоков в составе "NIM". Для измерения содержания ^{241}Am использовали рентгено-спектрометрический тракт в составе рентгеновского детектора EG&G Ortec LOAX-51370/20 CFG-SU-GMX ("EG&G Ortec", США) и анализатора "Nokia LP 4900 B". Оценку мощности поглощенной дозы от инкорпорированных радионуклидов проводили по методике [1].

Цитогенетические исследования проводили в тканях эмбрионов прудовика обыкновенного (*Limnea stagnalis* L.), а также в икре линя (*Tinca tinca* L.) и карася (*Carassius carassius* L.). Пробы фиксировали смесью этилового спирта и ледяной уксусной кислоты (3:1). Эмбрионы окрашивали 1 %-ным ацетоорсеином, затем измельчали и готовили давленные препараты

в 60 %-ной молочной кислоте. Повреждения хромосом анализировали на стадии анафазы и телофазы митоза.

Результаты исследований и их обсуждение

Мощность дозы внешнего γ -излучения для гидробионтов исследуемых водоемов зоны отчуждения ЧАЭС регистрировалась в диапазоне $1,7 \cdot 10^{-3} - 3,3$ Гр/год. Максимальные значения отмечены для озер одамбированного участка левобережной поймы р. Припять – Глубокое и Далекое-1, минимальные – для проточных водных объектов – рек Уж и Припять (таблица). Соотношение доз, полученных за счет внешнего и внутреннего облучения для гидробионтов из различных водоемов существенно варьировало и зависело от уровня содержания γ -излучающих радионуклидов в донных отложениях литоральной зоны, а также в почвах, прилегающих к береговой линии. В оз. Глубокое, характеризующимся наличием так называемой полосы аномального загрязнения на границе уреза воды, около 95 % дозы гидробионты получают за счет внешних источников и лишь около 5 % за счет радионуклидов, инкорпорированных в тканях. Подобное соотношение наблюдается и для рек зоны отчуждения – Уж и Припять, однако здесь такая закономерность связана с высокой степенью проточности этих водных объектов и сравнительно низким содержанием радионуклидов в воде и, соответственно, в тканях гидробионтов. В оз. Азбучин и Яновском затоне, при сравнительно невысокой дозе внешнего облучения, основной вклад в мощность поглощенной дозы вносят радионуклиды, инкорпорированные в тканях гидробионтов. Это связано с

высоким содержанием радионуклидов в воде и, в то же время, низким уровнем загрязнения донных отложений литоральной зоны и почв прилегающих территорий, песчаный тип которых обуславливает низкую степень фиксации радионуклидов. Пруд-охладитель в этом отношении занимает промежуточное положение.

Диапазоны мощности поглощенной дозы для гидробионтов литоральной зоны водоемов зоны отчуждения ЧАЭС, Гр·год⁻¹

Дозовая составляющая		Водный объект						
		р. Уж	р. Припять	пруд-охладитель ЧАЭС	Яновский загон	оз. Азбучин	оз. Далекое-1	оз. Глубокое
Внутренняя доза от инкорпорированных радионуклидов	⁹⁰ Sr	9,9·10 ⁻⁶ 1,8·10 ⁻⁴	1,5·10 ⁻⁵ 8,6·10 ⁻⁵	2,2·10 ⁻⁴ 2,1·10 ⁻³	7,7·10 ⁻⁴ 8,1·10 ⁻⁴	4,9·10 ⁻³ 5,1·10 ⁻²	1,8·10 ⁻³ 3,2·10 ⁻²	2,2·10 ⁻³ 6,1·10 ⁻²
	¹³⁷ Cs	1,0·10 ⁻⁴ 1,8·10 ⁻⁴	1,2·10 ⁻⁴ 4,5·10 ⁻⁴	5,7·10 ⁻³ 2,0·10 ⁻²	3,2·10 ⁻³ 4,2·10 ⁻²	8,3·10 ⁻³ 1,5·10 ⁻²	6,2·10 ⁻³ 8,2·10 ⁻³	3,6·10 ⁻² 4,9·10 ⁻²
	²³⁸ Pu	×*	×	5,2·10 ⁻⁶ 7,9·10 ⁻⁵	5,4·10 ⁻⁵ 2,5·10 ⁻⁴	4,2·10 ⁻⁵ 3,3·10 ⁻⁴	6,5·10 ⁻⁵ 3,7·10 ⁻⁴	1,5·10 ⁻⁴ 1,3·10 ⁻³
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	×	×	8,3·10 ⁻⁵ 1,6·10 ⁻⁴	1,3·10 ⁻⁴ 5,9·10 ⁻⁴	1,3·10 ⁻⁴ 7,2·10 ⁻⁴	1,6·10 ⁻⁴ 7,9·10 ⁻⁴	3,2·10 ⁻⁴ 2,3·10 ⁻³
	²⁴¹ Am	×	×	2,3·10 ⁻⁵ 3,6·10 ⁻⁴	4,5·10 ⁻⁵ 6,3·10 ⁻⁴	6,7·10 ⁻⁵ 7,5·10 ⁻⁴	9,7·10 ⁻⁵ 8,0·10 ⁻⁴	7,2·10 ⁻⁴ 2,5·10 ⁻³
	Общая	1,1·10 ⁻⁴ 3,6·10 ⁻⁴	1,4·10 ⁻⁴ 5,4·10 ⁻⁴	6,0·10 ⁻³ 2,3·10 ⁻²	4,2·10 ⁻³ 4,4·10 ⁻²	1,3·10 ⁻² 6,8·10 ⁻²	8,5·10 ⁻³ 4,2·10 ⁻²	3,9·10 ⁻² 1,2·10 ⁻¹
	Вклад в общую дозу, %	6–12	4–12	43–74	56–87	73–85	17–46	3–6
Внешняя доза от водной среды	⁹⁰ Sr	4,9·10 ⁻⁸ 9,8·10 ⁻⁸	6,8·10 ⁻⁸ 1,5·10 ⁻⁷	5,2·10 ⁻⁷ 5,8·10 ⁻⁷	2,1·10 ⁻⁵ 2,8·10 ⁻⁵	4,4·10 ⁻⁵ 7,0·10 ⁻⁵	2,8·10 ⁻⁵ 3,3·10 ⁻⁵	3,2·10 ⁻⁵ 4,0·10 ⁻⁵
	¹³⁷ Cs	2,7·10 ⁻⁷ 3,8·10 ⁻⁷	2,9·10 ⁻⁷ 4,3·10 ⁻⁷	7,2·10 ⁻⁶ 8,3·10 ⁻⁶	1,3·10 ⁻⁵ 1,6·10 ⁻⁵	4,5·10 ⁻⁵ 1,3·10 ⁻⁴	2,7·10 ⁻⁵ 4,0·10 ⁻⁵	3,8·10 ⁻⁵ 4,5·10 ⁻⁵
	Общая	3,2·10 ⁻⁷ 4,8·10 ⁻⁷	3,6·10 ⁻⁷ 5,8·10 ⁻⁷	7,7·10 ⁻⁶ 8,9·10 ⁻⁶	3,4·10 ⁻⁵ 4,4·10 ⁻⁵	8,9·10 ⁻⁵ 2,0·10 ⁻⁴	5,5·10 ⁻⁵ 7,3·10 ⁻⁵	7,0·10 ⁻⁵ 9,5·10 ⁻⁵
	Вклад в общую дозу, %	1·10 ⁻² 2·10 ⁻²	1·10 ⁻² 2·10 ⁻²	3·10 ⁻² 6·10 ⁻²	9·10 ⁻² 5·10 ⁻¹	3·10 ⁻¹ 5·10 ⁻¹	8·10 ⁻² 1·10 ⁻¹	3·10 ⁻³ 4·10 ⁻³
Внешняя γ-доза (1) и ее вклад в общую дозу (2), %	1	1,7·10 ⁻³ 2,9·10 ⁻³	2,3·10 ⁻³ 3,6·10 ⁻³	7,4·10 ⁻³ 7,9·10 ⁻³	3,3·10 ⁻³ 6,2·10 ⁻³	4,8·10 ⁻³ 1,2·10 ⁻²	4,3·10 ⁻² 5,0·10 ⁻²	1,5–3,3
	2	88–94	88–96	26–57	13–44	15–27	54–83	94–97
Общая доза		1,8·10 ⁻³ 3,3·10 ⁻³	2,4·10 ⁻³ 4,1·10 ⁻³	1,3·10 ⁻² 3,1·10 ⁻²	7,5·10 ⁻³ 5,0·10 ⁻²	1,8·10 ⁻² 8,0·10 ⁻²	5,2·10 ⁻² 9,2·10 ⁻²	1,6–3,4

* Измерения не проводили.

По классификации Г. Г. Поликарпова [2] исследуемые нами литоральные участки рек Уж и Припять относятся к зоне радиационного благополучия, участки станций отбора проб в озерах Азбучин и Далекое-1, Яновском затоне и пруде-охладителе ЧАЭС – к зонам физиологической и экологической маскировки, а в оз. Глубокое – приближаются к зоне поражения экосистем, где могут наблюдаться уменьшение численности водных организмов и гибель радиочувствительных видов.

Исследование частоты хромосомных aberrаций в клетках эмбрионов пресноводного моллюска прудовика обыкновенного (*Lymnaea stagnalis* L.) показало, что в сравнении с

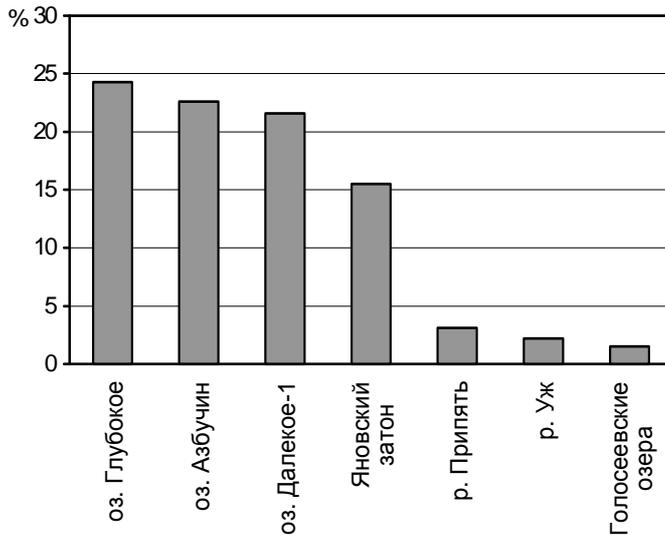


Рис. 2. Частота хромосомных aberrаций в клетках эмбрионов прудовика обыкновенного в водоемах зоны отчуждения ЧАЭС.

Голосеевскими озерами Киева водоемы зоны отчуждения характеризуются повышенным уровнем частоты хромосомных aberrаций. Максимальные значения отмечены для беспозвоночных оз. Глубокое, в клетках которых частота aberrаций в среднем составила около 25 % с максимальными значениями до 27 %, что более чем в 10 раз превышает уровень спонтанного мутагенеза для водных организмов (рис. 2). Несколько меньшие значения зарегистрированы для моллюсков озер Азбучин и Далекое-1, а также Яновского затона. Эмбрионы моллюсков, обитающих в реках Уж и Припять характеризовались сравнительно невысоким средним уровнем aberrантных клеток 2,5 и 3,5 % соответственно. Для моллюсков озер Голосеевского парка этот показатель

составил около 1,5 %, с максимальными значениями – до 2,5 %. В клетках эмбрионов карася и линя из озер Глубокое и Азбучин уровень хромосомных aberrаций в 2001 – 2003 гг. составил около 10 %. Более низкий уровень частоты хромосомных aberrаций у рыб по сравнению с брюхоногими моллюсками, очевидно, связан с низкими дозовыми нагрузками, обусловленными внешним облучением при обитании в водной толще открытых участков водоемов. При этом основная часть поглощенной дозы для рыб формируется за счет радионуклидов ¹³⁷Cs, инкорпорированных в ткани. Даже для бентосоядных рыб внешняя доза от излучателей, депонированных в донных отложениях водоемов, невелика по сравнению с литоральной зоной, где плотности загрязнения береговой линии (в частности, для оз. Глубокое) существенно выше. Внешняя доза облучения для брюхоногих моллюсков, обитающих в зарослях прибрежной растительности, значительно превышает таковую для рыб, кроме того, многократно возрастает доза от ⁹⁰Sr, инкорпорированного в раковине моллюсков.

Нами не зарегистрировано четкой линейной зависимости между мощностью поглощенной дозы и уровнем повреждений хромосом в тканях гидробионтов, однако на основании проведенных исследований можно заключить, что, несмотря на годы, прошедшие после аварии на ЧАЭС, высокий уровень содержания радионуклидов в компонентах водных экосистем зоны отчуждения продолжает оказывать существенное повреждающее воздействие на представителей водных биоценозов, обуславливая повышенный уровень хромосомного мутагенеза и связанную с этим репродуктивную гибель клеток в тканях гидробионтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Amiro B.D. Radiological Dose Conversion Factors for Generic Non-Human Biota Used for Screening Potential Ecological Impacts // Journal of Environmental Radioactivity. – 1997. – Vol. 35, No 1. – P. 37–51.
2. Polikarpov G.G. Effects of nuclear and non-nuclear pollutants on marine ecosystems // Marine Pollution: Proc. of a Symp., Monaco, 5–9 Oct. 1998. IAEA-TECDOC-1094. IAEA-SM-354/22. – 1999. – P. 38–43.

Поступила в редакцию 31.01.05,
после доработки 28.02.05.

39 ГІДРОБІОНТИ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС: ДОЗОВІ НАВАНТАЖЕННЯ ТА ЦИТОГЕНЕТИЧНІ ЕФЕКТИ**Д. І. Гудков, О. Б. Назаров, М. Г. Мардаревич, О. Г. Сивак**

Протягом 2000 – 2004 рр. оцінювали потужність поглинутої дози для гідробіонтів літоральної зони водних об'єктів зони відчуження ЧАЕС. Максимальні значення (до 3,4 Гр/рік) зазначено для озер одамбованої ділянки лівобережної заплави р. Прип'ять, мінімальні (близько 1,8 мГр/рік) – для проточних водних об'єктів – рік Уж і Прип'ять. Співвідношення доз зовнішнього та внутрішнього опромінення істотно варіювало й залежало від рівня вмісту γ -випромінюючих радіонуклідів у донних відкладах літоральної зони, а також у ґрунтах, що прилягають до берегової смуги. У клітинах гідробіонтів з водойм зони відчуження зареєстровано підвищений рівень хромосомного мутагенезу.

39 HYDROBIONTS OF THE CHERNOBYL NPP EXCLUSION ZONE: DOSE RATES AND CYTOGENETIC EFFECTS**D. I. Gudkov, A. B. Nazarov, M. G. Mardarevich and O. V. Syvak**

During 2000 – 2004 the values of the absorbed dose for hydrobionts from reservoirs within the Chernobyl NPP exclusion zone were found to be in the range from $1,8 \cdot 10^{-3}$ to 3.4 Gy year^{-1} . The highest value was found for hydrobionts from lakes within the embankment territory on the left-bank flood plain of Pripyat River, the lowest – for specimens from the running water objects and lakes of Kiev City. The high level of chromosome aberration in of snail's cells from water objects within the Chernobyl exclusion zone has been registered in comparison with Goloseevo lakes. The molluscs from Dalekoye-1 Lake and Glubokoye Lake were characterised by the maximal rate of chromosome aberration – about 20–25 %, that in 10 times exceeds a level spontaneous mutagenesis for hydrobionts. A little bit less rate is registered for snails from Azbuchin Lake and Yanovsky Creek. The chromosome aberration rate of molluscs from Goloseevo lakes (Kiev) on average was about 1.5 %, and the maximal rate did not exceed 2.5 %.

Гудков Дмитрий Игоревич: кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела радиэкологии Института гидробиологии НАН Украины. Просп. Героев Сталинграда, 12, 04210, Киев. э-почта: digudkov@svionline.com

Назаров Александр Борисович: инженер 1-й категории Государственного специализированного научно-производственного предприятия "Чернобыльский радиэкологический центр" Министерства Украины по вопросам чрезвычайных ситуаций и делам защиты населения от последствий Чернобыльской катастрофы. Ул. Школьная, 6, 07270, Чернобыль, Киевская область. э-почта: nazarov@cremzv.kiev.ua

Мардаревич Мирослав Григорьевич: младший научный сотрудник отдела радиэкологии Института гидробиологии НАН Украины

Сивак Елена Владимировна: инженер отдела радиэкологии Института гидробиологии НАН Украины