

ДОЗОВЫЕ НАГРУЗКИ ОТ ИЗЛУЧЕНИЙ АВАРИЙНЫХ ^{90}Sr И ^{137}Cs НА ГИДРОБИОНТОВ ВОДОЕМА- ОХЛАДИТЕЛЯ ЧАЭС, КИЕВСКОГО И КАХОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ, СЕВЕРО-КРЫМСКОГО КАНАЛА И ЧЕРНОГО МОРЯ

Оценка поглощенных доз (с использованием US DOE, 2001 [9]) для различных видов гидробионтов из водоема-охладителя ЧАЭС, Киевского и Каховского водохранилищ, Северо-Крымского канала (СКК) и Черного моря от излучений послеаварийных ^{90}S и ^{137}Cs произведена на основе полученных нами и приведенных в работах [1, 2] данных. Сопоставление результатов со шкалой Зон хронического ионизирующего облучения [7] показало, что дозовые нагрузки от излучений ^{90}S и ^{137}Cs на гидробионтов из водоема-охладителя ЧАЭС в период наблюдения 1986-1998 гг., а из Киевского водохранилища – в период 1986-1989 гг. приходились на Зону экологической маскировки: гидробионты испытывали повышенное облучение, эффекты которого могли маскироваться в условиях воздействий разных экологических факторов. За весь период наблюдения дозовые нагрузки от излучений послеаварийных ^{90}S и ^{137}Cs не достигли значений, способных оказать регистрируемое влияние на гидробионтов из Каховского водохранилища, СКК и Черного моря.

Ключевые слова: водоем-охладитель ЧАЭС, Киевское и Каховское водохранилища, Северо-Крымский канал, Черное море, стронций-90, цезий-137, поглощенные дозы.

Оцінка поглинутих доз (з використанням US DOE, 2001 [9]) для різних видів гідробіонтів з водойми-охолоджувача ЧАЕС, Київського і Каховського водосховищ, Північно-Кримського каналу (ПКК) і Чорного моря від випромінювань післяаварійних ^{90}S і ^{137}Cs зроблена на підставі отриманих нами і наведених у роботах [1, 2] даних. Зіставлення результатів зі шкалою Зон хронічного іонізуючого опромінення [7] показало, що дозові навантаження від випромінювань ^{90}S і ^{137}Cs на гідробіонтів з водойми-охолоджувача ЧАЕС у період спостереження 1986-1998 рр., а з Київського водосховища – у період 1986-1989 рр. припадали на Зону екологічного маскування: гідробіонти випробували підвищене опромінення, ефекти якого могли маскуватися в умовах впливів різних екологічних факторів. За весь період спостережень дозові навантаження від випромінювання ^{90}S і ^{137}Cs не досягли значень, здатних спричинити реєстрований вплив на гідробіонтів з Каховського водосховища, ПКК і Чорного моря.

Ключові слова: водойма-охолоджувач ЧАЕС, Київське і Каховське водосховища, Північно-Кримський канал, Чорне море, стронцій-90, цезій-137, поглинуті дози.

The estimation of the absorbed dozes (with use US DOE, 2001 [9]) for various species of hydrobionts from the Chernobyl NPP pond-cooler, Kiev and Kakhovskoe reservoirs, North-Crimean channel (NCC) and the Black Sea from radiations of after accident ^{90}S and ^{137}Cs , is made on the basis of received by us and given in articles [1, 2] data. The comparison of results to a scale of Zones chronic ionizing irradiation [7] has shown,

that dose commitment from radiations of ^{90}Sr and ^{137}Cs on hydrobionts from the Chernobyl NPP pond-cooler during supervision 1986-1998 yy., and from the Kiev reservoir – during 1986-1989 yy. had on a Zone of Ecological masking: hydrobionts were subjected the increased irradiation, which effects could mask in conditions of influences of the different ecological factors. For all investigation period the dose commitment from radiations of after accident ^{90}Sr and ^{137}Cs have not achieved volumes capable to render registered influence on hydrobionts from Kakhovskoe reservoir, NCC and the Black Sea.

Key words: *the Chernobyl NPP pond-cooler, Kiev and Kakhovskoe reservoirs, North-Crimean channel, the Black Sea, strontium-90, caesium-137, absorbed dozes.*

Радиоактивное загрязнение гидросферы после аварии на Чернобыльской АЭС неизбежно повлекло за собой воздействие ионизирующей радиации не только на человека, но и на растения и животных, ареал которых попал в сферу влияния этой аварии. За данными Научного Комитета по Проблемам Окружающей Среды (SCOPE), дикие животные более беззащитны перед радиацией, чем человек [9]. Это же относится и к растениям. Во-первых, правильно организованный радиационный контроль позволяет человеку выбирать и использовать качественные ресурсы (пищу, питьевую воду, места проживания и т. п.). Во-вторых, с целью снижения воздействия радиоактивного загрязнения человек может использовать различные медико-санитарные и технические средства [5, 8, 9].

Цель настоящей работы состояла в оценке дозовых нагрузок и, следовательно, возможных последствий радиационного воздействия излучений поставарийных ^{90}Sr и ^{137}Cs в качестве внешних и внутренних источников облучения гидробионтов различных экологических групп в водоемах, которые удалены от Чернобыльской АЭС на различные расстояния. При этом также учитывалась доза от β -частиц ^{90}Y , дочернего продукта ^{90}Sr , и доза от α -квантов $^{137\text{m}}\text{Ba}$, дочернего продукта, образующегося при β -распаде ядра ^{137}Cs . В связи с поставленной целью решались следующие задачи: определить дозовые нагрузки, получаемые различными гидробионтами из водоема-охладителя ЧАЭС, Киевского и Каховского водохранилищ, Северо-Крымского канала, севастопольских бухт Черного моря в результате загрязнения абиотических и биотических компонентов водных экосистем ^{90}Sr и ^{137}Cs после аварии на Чернобыльской АЭС за период с 1986 по 2006 гг.; сопоставить полученные в системе мониторинга результаты со шкалой «Зон хронического действия ионизирующего излучения»; сравнить дозы, полученные гидробионтами из водоемов, близких к источнику поступления аварийных ^{90}Sr и ^{137}Cs , с дозовыми нагрузками, полученными гидробионтами из водоемов, значительно удаленных от ЧАЭС.

Материал и методы. Материалом исследования служили результаты определения концентрации ^{90}Sr в воде, донных отложений, гидробионтах различных таксономических групп водоема-охладителя ЧАЭС, Киевского и Каховского водохранилищ, Северо-Крымского канала (СКК) и Черного моря в период 1986-2006 гг. Отбор проб

в водоеме-охладителе и Киевском водохранилище проводился в 1990-1992 гг., в Каховском водохранилище и СКК – в 1990-1995 гг. в плановых сухопутных экспедициях. В Черном море пробы отбирали в 9 научно-исследовательских рейсах и в многочисленных экспедициях по Севастопольской морской акватории в период 1994-2006 гг. Также использовались база данных ОРХБ по концентрации ^{90}Sr в компонентах экосистем Черного моря и литературные данные. За период исследования было обработано и проанализировано следующее количество проб: 1341 – воды, 377 – донных отложений, 277 – водорослей (6 видов) и высших водных растений (16 видов), 187 – моллюсков (8 видов), 239 – рыб (29 видов). 1341 проб воды исследуемых водоемов.

Расчет радиационных доз для популяций растений и животных, обитающих в исследуемых водоемах, основывался на использовании коэффициента DCF (дозового конверсионного фактора, Гр год⁻¹/Бк кг⁻¹) для ^{90}Sr и ^{137}Cs и на определении суммарной дозы, получаемой гидробионтами от внешнего (вода и донные отложения) и внутреннего облучения этими радионуклидами [6, 9]. Полученные результаты сравнивали с пределом дозы в 10 мГр в день, не вызывающей регистрируемых изменений в природных популяциях гидробионтов [7, 9].

Дозы, получаемые гидробионтами от внутреннего и внешнего источника облучения (D_i), рассчитывали, используя дозовые конверсионные факторы DCF_{int} (для внутреннего облучения), DCF_{ext} (для внешнего облучения) и формулу 1 [6, 9]:

$$D_i = C_i^w \cdot DCF_{\text{ext}}^w + C_i^{\text{sed}} \cdot DCF_{\text{ext}}^{\text{sed}} + C_i^w \cdot \frac{DCF_{\text{int}}}{CF_{\text{hydr}}^{\text{hydr}}} \quad (\text{Гр год}^{-1}), \quad (1)$$

где C_i^w – концентрация i -го радионуклида в воде; DCF_{ext}^w – дозовый конверсионный фактор i -го радионуклида в водной среде, формирующий дозу внешнего облучения в гидробионте; C_i^{sed} – концентрация i -го радионуклида в донных отложениях; $DCF_{\text{ext}}^{\text{sed}}$ – дозовый конверсионный фактор i -го радионуклида в донных отложениях, формирующий дозу облучения в гидробионте; DCF_{int} – дозовый конверсионный фактор i -го радионуклида в гидробионтах, формирующий дозу внутреннего облучения в организме; $CF_{\text{hydr}}^{\text{hydr}}$ – коэффициент накопления i -го радионуклида в гидробионте.

Величина дозы, получаемая гидробионтом от внешнего и внутреннего облучения ^{90}Sr и ^{137}Cs , определяется [7, 9] как сумма доз:

$$D_S = D_{\text{внутр.}} + D_{\text{внеш.}} \quad (2)$$

Использование этой формулы для расчета поглощенных доз для гидробионтов от различных радионуклидов основывается на следующих предположениях [9]: вода и донные отложения как объекты, содержащие различные радионуклиды, являются бесконечными в масштабе по отношению к гидробионтам, для которых они служат источниками внешнего облучения; принимается единообразное и равномерное загрязнение среды обитания гидробионтов; предполагается единовременный отбор гидробионтов, воды и донных отложений; гидробионт рассматривается как бесконечно малый объект по отношению к среде

обитания; предполагается, что гидробионты, находясь 100 % своего жизненного цикла в водной среде, получают внешнюю дозу облучения от двух пограничных сред: воды и донных отложений [7, 9].

Использование DCF для расчета доз в гидробионте предполагает определение только поглощенных доз [7, 9]. Следует отметить, что поглощенная и эквивалентная дозы, формируемые в биоте от воздействия бета- и гамма-излучателей численно равны, так как коэффициент качества для них равен единице [3-5]. Нами рассчитывались и анализировались только поглощенные дозы, образуемые при распаде ^{90}Sr и ^{137}Cs в гидробионтах различных таксономических групп.

Результаты и обсуждение. Рассчитанные дозы внутреннего и внешнего облучения, полученные гидрофитами от излучений ^{137}Cs и ^{90}Sr на основании собственных и литературных данных, представлены на рисунке 1.

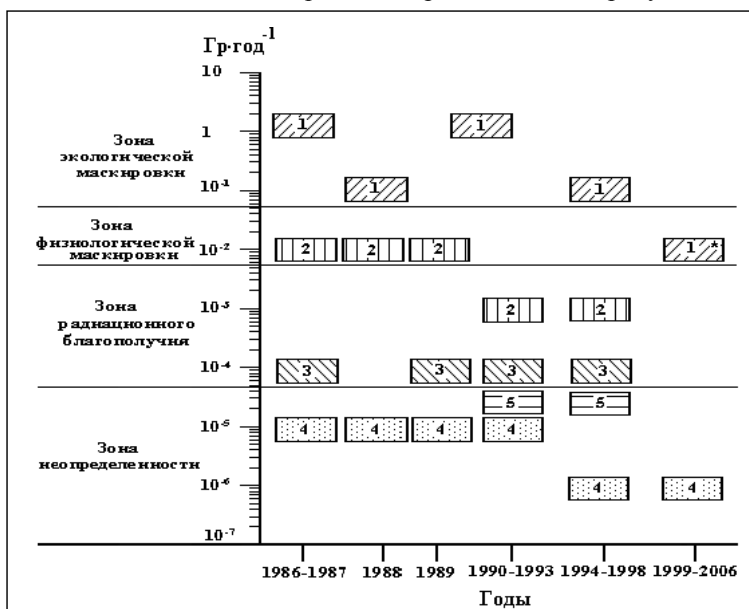


Рис. 1. Распределение во времени среднегодовых поглощенных доз облучения высших водных растений из водоема-охладителя ЧАЭС (1), Киевского водохранилища (2), Каховского водохранилища (3), Черного моря (4) и СКК (5) от ^{90}Sr и ^{137}Cs

На примере оценки дозовых нагрузок было получено, что основной вклад в дозу составило внутреннее облучение, формируемое ^{137}Cs и ^{90}Sr . В связи с тем, что величины DCF для воды и донных отложений имеют порядок 10^{-9} и 10^{-6} , соответственно [9], то и дозы, получаемые водными организмами от внешнего облучения, были того же порядка, или на порядок ниже доз внутреннего облучения. Поэтому нами рассматривались суммарные дозовые нагрузки на гидробионты, получаемые от их внутреннего облучения при распаде ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Для водных растений поглощенные дозы от ^{90}Sr и ^{137}Cs уменьшались по мере удаления водоемов от ЧАЭС. Дозы внутреннего облучения для гидрофитов из водоема-охладителя ЧАЭС находились с 1986 по 1998 гг. в «Зоне экологической маскировки» в соответствии со шкалой «Зон хронического ионизирующего облучения» [5, 7] (рис. 1). К 2003 г. суммарные дозовые нагрузки на

водные растения водоема-охладителя уменьшились на 1-2 порядка, по сравнению с предыдущим периодом, однако соответствовали диапазону «Зоны физиологической маскировки» [1]. С 1986 г. по 1989 г. для гидрофитов из Киевского водохранилища дозовые нагрузки от ^{90}Sr и ^{137}Cs находились в «Зоне физиологической маскировки», а с 1990 г. по настоящее время – в «Зоне радиационного благополучия». Судя по мощности доз, количество этих радионуклидов, которое формирует поглощенные дозы в гидрофитах Каховского водохранилища, Северо-Крымского канала и Черного моря, не оказало заметного радиационного воздействия. За весь период исследования дозы находились в пределах «Зоны радиационного благополучия» и ниже (рис. 1).

Мощности поглощенных доз, полученные моллюсками от излучений ^{137}Cs и ^{90}Sr , представлены на рисунке 2. На основе рассчитанных нами и приведенных в литературе значений доз отмечено,

что среднегодовые мощности поглощенных доз, полученные моллюсками из водоема-охладителя ЧАЭС от ^{137}Cs и ^{90}Sr за период 1986-1998 гг. находились в «Зоне экологической маскировки» [2]. К 2003 г. мощности доз снизились на 1-2 порядка и их величины определялись в пределах «Зоны физиологической маскировки».

Было показано, что диапазон среднегодовых мощностей поглощенных доз для моллюсков из Киевского водохранилища изменялся в 1986 г. от «Зоны радиационного благополучия» до «Зоны физиологической маскировки», в 1987 г. – от

«Зоны физиологической маскировки» до «Зоны экологической маскировки», а в 1988-1989 гг. – от «Зоны радиационного благополучия» до «Зоны экологической маскировки» [2]. По нашим расчетам (рис. 2), с 1991 г. мощности поглощенных доз для моллюсков Киевского водохранилища снижаются, находясь только в области «Зоны радиационного благополучия». В целом, за весь период исследования мощности доз ^{137}Cs и ^{90}Sr для моллюсков из Каховского водохранилища и Черного моря располагались в «Зоне радиационного благополучия» и ниже (рис. 2).

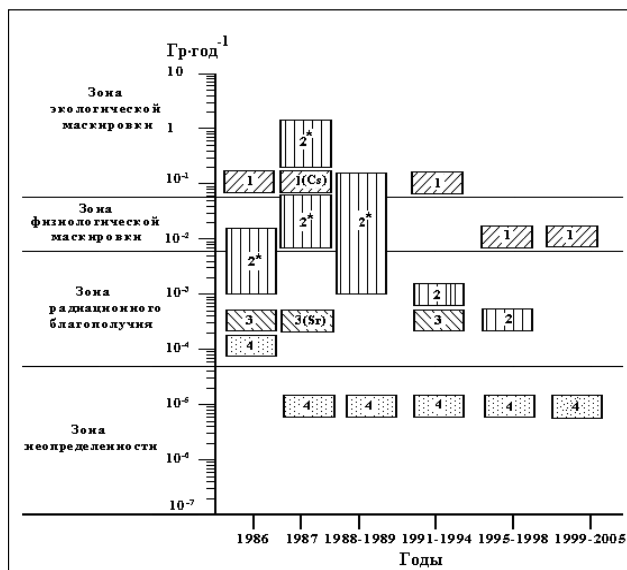


Рис. 2. Распределение во времени среднегодовых поглощенных доз облучения моллюсков из водоема-охладителя ЧАЭС (1), Киевского водохранилища (2), Каховского водохранилища (3) и Черного моря (4) от ^{90}Sr и ^{137}Cs (Cs – доза, формируемая только ^{137}Cs , Sr – только ^{90}Sr).

Примечания: значения доз за период 1986-1989 гг. для (2) приведены из работы [2]

Суммарные дозы от ^{90}Sr и ^{137}Cs для рыб из водоема-охладителя ЧАЭС были существенны (рис. 3). За период с 1986 по 2003 гг. они находились

в пределах «Зон экологической и физиологической маскировки» [2].

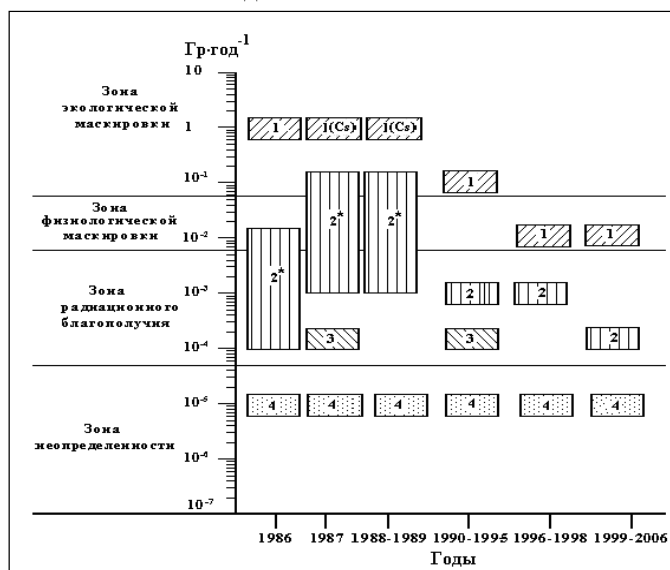


Рис. 3. Распределение во времени среднегодовых поглощенных доз облучения рыб из водоема-охладителя ЧАЭС (1), Киевского водохранилища (2), Каховского водохранилища (3) и Черного моря (4) от ^{90}Sr и ^{137}Cs в 1986 – 2006 гг. (* – доза, формируемая только ^{137}Cs).

Примечания: значения доз за период 1986 – 1989 гг. для (2) приведены из работы [2]

С 1986 г. по 1989 г. диапазон суммарных доз для рыб из Киевского водохранилища изменялся от «Зоны радиационного благополучия» до «Зоны экологической маскировки» [2]. При этом максимальные значения доз были зарегистрированы в 1987-1989 гг. (рис. 3). Дозы внутреннего облучения от ^{90}Sr и ^{137}Cs для рыб из Каховского водохранилища и Черного моря находились в течение всего периода исследования (1986-2006 гг.) в пределах «Зоны радиационного благополучия» и ниже.

Таким образом, удаленность водоемов от места аварии и биогеохимические процессы, происходящие в водных экосистемах, способствовали тому, что поставарийные ^{90}Sr и ^{137}Cs не сформировали дозы, которые могли бы оказать регистрируемое влияние на популяции гидробионтов Каховского водохранилища, Северо-Крымского канала и Черного моря независимо от времени проводимых исследований после аварии на ЧАЭС.

Выводы. Суммарные дозовые нагрузки от ^{90}Sr и ^{137}Cs после аварии на ЧАЭС способны (согласно шкалы «Зон хронического действия

ионизирующего облучения») оказать заметное влияние на изменения в гидробионтах (водные растения, моллюски, рыбы) из водоема-охладителя ЧАЭС в период с 1986 по 1998 гг., а на гидробионты из Киевского водохранилища – в период с 1986 по 1989 гг.

Суммарные дозовые нагрузки от двух основных поставарийных радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs не достигли значений, способных оказать регистрируемое влияние на гидробионтов в Каховском водохранилище, Северо-Крымском канале и Черном море независимо от времени проведения исследований.

Сопоставление полученных в системе мониторинга результатов со шкалой «Зон хронического действия ионизирующего облучения» служит системой контроля за радиоэкологическим состоянием водных экосистем после аварии на Чернобыльской АЭС и позволяет делать прогноз ее ожидаемых последствий для гидробионтов из водоемов, различно удаленных от региона аварии – от водоема-охладителя ЧАЭС до Черного моря.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидробионты зоны отчуждения Чернобыльской АЭС: современные уровни содержания радионуклидов, дозовые нагрузки и цитогенетические эффекты / Д.И. Гудков, В.В. Деревец, М.И. Кузьменко [и др.] // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека (геология, экология, геохимия): II междунар. конф., 18-22 окт. 2004 г.: материалы. – Томск: Тандем-Арт, 2004. – С. 168-171.
2. Гидроэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС / [Н.Ю. Евтушенко, М.И. Кузьменко, Л.А. Сиренко и др.]; отв. ред. Д.М. Гродзинский. – К.: Наук. думка, 1992. – 267 с.
3. Гродзинський Д.М. Радіобіологія: підручник [для студ. біол. спеціальностей вищ. закл. освіти] / Гродзинський Д.М. – К.: Либідь, 2000. – 448 с.
4. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України : ОСПУ-2005. – [Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 20 травня 2005 р. За № 552/10832]. – К.: Міністерство охорони здоров'я України, Радіаційна гігієна, 2005. – 112 с. – (Нормативно-директивний документ МОЗ України).
5. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиоэкология после Чернобыля [Текст] / [Л.Дж. Апплби, Л. Девелл, Ю.К. Мишра и др.] под ред. Ф. Уорнера и Р. Харрисона ; [пер. с англ. Д.В. Гричук, Н.П. Григорьева, Т.В. Никитина и др.]. – М.: Мир, 1999. – 512, [1] с.
6. Amiro B.D. Radiological dose conversion factor for generic non-human biota used for screening potential ecological impacts / B.D. Amiro // J. Environ. Radioactivity. – 1997. – Vol. 35, № 1. – P. 37-51.
7. Polikarpov G.G. Conceptual model of responses of organisms, populations and ecosystems in all possible dose rates of ionizing radiation in the environment [Text] / G. G. Polikarpov // RADOС 96-97, Norwich / Lowestoft, 8-11 Apr., 1997. Radiation Protection Dosimetry. – 1998. – Vol. 75. – № 1-4. – P. 181-185.
8. Thomas P. An estimation of radiation doses to benthic invertebrates from sediments collected near a Canadian uranium mine [Text] / P. Thomas, K. Liber // J. of Environ. Intern. – 2001. – Vol. 27. – P. 341-353.
9. US DOE (United States Department of Energy). DOE Standard. A graded approach for evaluating radiation doses to aquatic and terrestrial biota. – DOE Technical Standard, DOE-STD-20585: [standard]. – Washington: US DOE. – March 2001. – 2001. – 347, [1] p.

Рецензенти: Лазоренко Г.Є., к.б.н., старший науковий співробітник;
Стокозов Н.А., к.геог.н., старший науковий співробітник

© Мирзоева Н.Ю., Полікарпов Г.Г., Єгоров В.М.,
Архипова С.І., Коришко Н.Ф., Мігаль Л.В., 2009

Стаття надійшла: 28.03.2009 р.