

**ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ
СТРОНЦИЯ-90
В ГИДРОБИОНТАХ ИЗ ВОДОЁМОВ
БАССЕЙНА ДНЕПРА И ЧЁРНОГО
МОРЯ В ПЕРИОД 1986-2007 ГГ.**

**Н.Ю. Мирзоева, С.И. Архипова,
Н.Ф. Коркишко, Л.В. Мигаль,
Ю.Г. Марченко**

Института биологии южных морей НАН
Украины (ИнБЮМ)
г. Севастополь. пр. Нахимова, 2
E-mail: natmirz@mail.ru

Определены основные закономерности распределения и миграции ^{90}Sr по биотическим компонентам экосистем водоёма-охладителя ЧАЭС, Киевского и Каховского водохранилищ, Северо-Крымского канала (СКК) и акватории Чёрного моря после аварии на ЧАЭС, спрогнозированы масштабы времени уменьшения концентрации ^{90}Sr в гидробионтах к доаварийным уровням.

Введение. Исследования по распределению ^{90}Sr аварийного происхождения в биотических компонентах экосистем Чёрного моря и водоёмов бассейна реки Днепр являются актуальными в современной радиоэкологии [1], так как позволяют оценить влияние радиационного загрязнения на популяции и биоценозы гидробионтов, определить роль живого вещества в переносе, миграции и элиминации этого радионуклида в водоёмах.

Целью и задачами исследований было: выявление закономерностей распределения и миграции ^{90}Sr после аварии на ЧАЭС в гидробионтах из водоёма-охладителя ЧАЭС, Киевского и Каховского водохранилищ, СКК и акватории Чёрного моря в период 1986–2007 гг., а также прогнозирование времени достижения доаварийных уровней концентрации ^{90}Sr в биотических компонентах пресных и морского водоёмов Украины.

Материалы и методы. Материалом исследования служили результаты определения концентрации ^{90}Sr в гидробионтах водоёма-охладителя ЧАЭС, Киевского и Каховского водохранилищ, СКК и Чёрного моря в период 1986–2007 гг. Также использовались база данных ОРХБ по концентра-

ции ^{90}Sr в компонентах экосистем Чёрного моря и литературные данные [2–6]. За период исследования было обработано и проанализировано следующее количество проб: 277 – водорослей (6 видов) и высших водных растений (16 видов), 187 – моллюсков (8 видов), 239 – рыб (29 видов). Метод определения ^{90}Sr в гидробионтах соответствует общепринятым в мировой практике и основан на: радиохимическом выделении радионуклида, измерении активности ^{90}Sr по черенковскому излучению его дочернего продукта ^{90}Y с использованием низкофонового жидкостного сцинтилляционного счётчика (LSC) LKB «Quantulus 1220», последующей математической обработке данных [7, 8]. Нижний предел определяемой активности (LLD) составляет 0.01–0.04 $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}(\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3})$ пробы. Относительная погрешность полученных результатов не превышала 20 %.

Результаты и обсуждение. Анализ полученных результатов показал, что рдест пронзённолистный (*Potamogeton perfoliatus* L.) в пресных водоёмах, цистозира (*Cystoseira crinita* (Desf.) Bory) в Чёрном море являются биоиндикаторами, которые могут быть использованы при оценке уровней радиоактивного загрязнения ^{90}Sr водных экосистем. Получено, что тенденции изменения концентрации ^{90}Sr в гидробионтах во времени, с достаточной степенью адекватности описываются экспоненциальными функциями. Определены постоянные времени уменьшения концентрации радионуклида вдвое ($T_{0.5}$), которые в гидрофитах составили: 3.57 года для водоёма-охладителя ЧАЭС, 7.76 года – для Киевского водохранилища; 4.9 года – для Каховского водохранилища, СКК и Чёрного моря. Значения K_H ^{90}Sr водорослями и высшими водными растениями из водоёма-охладителя ЧАЭС и Чёрного моря были в пределах от 58.6 до 375.0 единиц. В изученных масштабах времени тенденции изменения концентрации ^{90}Sr в цистозире соответствовали закономерностям изменения концентрации этого радионуклида в воде, а K_H этого радионуклида не зависели как от времени, так и от концентрации в воде. К 1994–2006 гг. концентрации ^{90}Sr гидрофитах из водоёма-охладителя ЧАЭС, Киевского и Каховского водохранилищ, СКК и Чёрного моря уменьшались на порядок по

мере удаления водоёма от места аварии на ЧАЭС (213.0, 78.3, 2.4, 2.5 $\text{Бк}\cdot\text{kg}^{-1}$ воздушно-сухой массы, соответственно). Прогнозируемое уменьшение концентрации ^{90}Sr в высших водных растениях водных растениях пресных водоёмов: водоёма-охладителя,

Киевского водохранилища к доаварийному уровню будет продолжаться 38 и 52 года, соответственно. В гидрофитах Каховского водохранилища и СКК концентрация ^{90}Sr достигла доаварийных уровней к 1997 г., в Чёрном море – к 1988 г. (таблица 1).

Таблица 1 – Основные параметры концентрирования ^{90}Sr водорослями и высшими водными растениями в период 1986–2007 гг.

Водоём	Диапазон концентраций ^{90}Sr , $\text{Бк}\cdot\text{kg}^{-1}$ воздушно-сухой массы	K_H	Периоды уменьшения концентрации ^{90}Sr вдвое, (T_{05})	Отношение периода полураспада ^{90}Sr к T_{05} , (раз)	Время достижения доаварийной концентрации ^{90}Sr (год)
Водоём-охладитель ЧАЭС	213.0–15000.0	58.6–375.0	3.57	8.7	2024
Киевское водохранилище	78.3–730.0	71.2–1025.0	7.76	4.0	2038
Каховское водохранилище и СКК	2.4–24.9	12.0–82.5	4.90	6.0	1997
Чёрное море	1.5–13.5	83.3–309.0	4.90	6.0	1988

Было определено, что индикаторными видами по оценке степени радиоактивного загрязнения водной среды поставарийным ^{90}Sr являются моллюски из рода Дрейссена (*Dreissena bugensis* (Andr.)) и Перловица (*Unio pictorum* L.) в пресных водоемах, в Чёрном море – мидия (*Mytilus galloprovincialis* Lmk.). Реакция моллюсков на повышение концентрации ^{90}Sr в воде Киевского и Каховского водохранилищ проявлялась с некоторым запаздыванием

(на 1–2 года) во времени, для мидий такое запаздывание равнялось 4 годам. Период T_{05} в моллюсках из водоёма-охладителя ЧАЭС, Киевского водохранилища, Чёрного моря с 1986 г. по 2005 г. был равен 3.76, 2.41, 6.70 года, соответственно. Прогнозируемое время достижения доаварийных уровней концентрации ^{90}Sr в моллюсках из водоёма-охладителя ЧАЭС, Киевского водохранилища с момента аварии составило: 44 года, 25 лет, соответственно (таблица 2).

Таблица 2 – Основные параметры концентрирования ^{90}Sr моллюсками в период 1986–2007 гг.

Водоём	Диапазон концентраций ^{90}Sr , $\text{Бк}\cdot\text{kg}^{-1}$ воздушно-сухой массы	K_H	Периоды уменьшения концентрации ^{90}Sr вдвое, (T_{05})	Отношение периода полураспада ^{90}Sr к T_{05} , (раз)	Время достижения доаварийной концентрации ^{90}Sr (год)
Водоём-охладитель ЧАЭС	213.0–15000.0	58.6–375.0	3.57	8.7	2024
Киевское водохранилище	78.3–730.0	71.2–1025.0	7.76	4.0	2038
Каховское водохранилище и СКК	2.4–24.9	12.0–82.5	4.90	6.0	1997
Чёрное море	1.5–13.5	83.3–309.0	4.90	6.0	1988

При этом основными факторами, влияющими на процесс уменьшения концентрации ^{90}Sr в моллюсках, являются: уровни концентрации радионуклида в воде водоёмов, отложение ^{90}Sr в качестве необменных фондов в организме, естественная смертность особей, изымаемость моллюсков человеком, в меньшей степени – процесс физического полураспада радионуклида. Для всего периода исследования с 1986 г. по 2005 г. концентрация ^{90}Sr в мидиях Чёрного моря была в 3–25 раз ниже ПДК [9, 10].

Выбраны индикаторные виды рыб для оценки степени концентрирования ^{90}Sr : среди пресноводных рыб – густера (*Blicca bjoerkna* (L.)), из морских рыб – камбала калкан (*Psetta maxima taeotica* (Pallas)) и мерланг (*Merlangius merlangus euxinus* (Nordmann)). К_H в рыбах исследуемых водоёмов были одного порядка независимо от времени наблюдения и концентрации радионуклида в воде: 60.5 ± 12.2 , 51.7 ± 10.3 , 30.4 ± 6.1 , 14.9 ± 3.0 единиц для рыб водоёма-охладителя ЧАЭС, Киевского, Кахов-

ского водохранилища, Чёрного моря, соответственно. Т₀₅ в рыbach водоёма-охладителя ЧАЭС, Киевского водохранилища с 1986 по 2003 гг. был равен 7.8–7.9 года, в Каховском водохранилище – 12.9 года. Для рыб Чёрного моря Т₀₅ превышают общую продолжительность жизни исследуемых видов рыб. Изменение концентрации радионуклида в рыбах зависело от: содержания ^{90}Sr в воде водоёма, возраста рыб, отложения ^{90}Sr в необменных фондах, естественной смертности, изымаемости человеком, в меньшей степени – от периода физического полураспада радионуклида. К 2003–2005 гг. концентрации ^{90}Sr в рыбах водоёма-охладителя ЧАЭС и Киевского водохранилища превышали доаварийные уровни в 50 и 70 раз, соответственно. По прогнозным оценкам масштабы времени реакции рыб на чернобыльскую аварию следующие: в рыбах водоёма-охладителя ЧАЭС – 55 лет с момента аварии, в рыбах Каховского водохранилища – 73 года. С 1991 г. наблюдается снижение концентрации ^{90}Sr в черноморских рыбах к доаварийному уровню (таблица 3).

Таблица 3 – Основные параметры концентрирования ^{90}Sr рыбами в период 1986–2007 гг.

Водоём	Диапазон концентраций ^{90}Sr , Бк kg^{-1} воздушно-сухой массы	K _H	Периоды уменьшения концентрации ^{90}Sr вдвое, (T ₀₅)	Отношение периода полураспада ^{90}Sr к T ₀₅ , (раз)	Время достижения доаварийных уровней концентрации ^{90}Sr (год)
Водоём-охладитель ЧАЭС	2133.0–40000.0	1255.0–25000.0	3.76	7.7	2030
Киевское водохранилище	53.0–1200.0	48.8–3000.0	2.41	12.0	2010
Каховское водохранилище и СКК	47.6–329.3	201.8–1180.3	6.42	4.8	2025
Чёрное море	1.3–12.5	67.4–511.3	6.70	4.3	1991

С 1986 г. по 2003 гг. концентрация ^{90}Sr в рыбах водоёма-охладителя ЧАЭС превышала в 8–69 раз ПДК [9]. Для рыб Киевского водохранилища, в 1986 г. концентрация ^{90}Sr в среднем в 2.8 раз превышала, а в 2005 г. – была ниже принятых ПДК. Концентрация ^{90}Sr в течение всего периода исследования в рыбах Каховского водохранилища и Чёрного моря была в 4.4 раза ниже ПДК [9].

Заключение. Таким образом, в результате исследований выделены индикаторные виды гидробионтов, для которых характерны общие закономерности изменения концентрации ^{90}Sr в биотических компонентах экосистем. Получено, что тенденции изменения концентрации ^{90}Sr в гидробионтах во времени, с достаточной степенью адекватности, описываются экспоненциальными функциями. Определены периоды умень-

шения концентрации ^{90}Sr вдвое: в водорослях и высших водных растениях 3.6–7.7; моллюсках 2.4–6.7 и рыбах 7.8–12.9 года. Прогнозируемое время снижения концентрации ^{90}Sr до предаварийных уровней составит: в пресноводных моллюсках, рыбах из всех исследуемых водоёмов, в высших водных растениях из водоёма-охладителя ЧАЭС и Киевского водохранилища – 25–73 года. Установлено, что диапазон изменения коэффициентов накопления ^{90}Sr для одних и тех же таксономических групп гидробионтов мало зависел от удалённости водоёма от места аварии. Коэффициенты накопления ^{90}Sr в водорослях, высших водных растениях и моллюсках составили $n \cdot 10^1 - n \cdot 10^3$, в рыбах – $n \cdot 10^0 - n \cdot 10^2$ единиц, что совпадало в пределах вариабельности наблюдений с известными из литературы экспериментальными уровнями и значениями коэффициентов накопления для других водоёмов.

Установлено, что, отражая степень удаления от ЧАЭС, в водоёме-охладителе ЧАЭС, Киевском водохранилище, Каховском водохранилище, Северо-Крымском канале и Чёрном море в среднем сформировались к 2006 г. следующие соотношения концентраций ^{90}Sr , соответственно: в водорослях и высших водных растениях – 100 : 40 : 5 : 5 : 0.5 (%); в моллюсках и рыбах (исключая СКК) – 100 : 5 : 3 : 0.1 и 100 : 10 : 3 : 0.3 (%).

Проведённые исследования показали, что используемые подходы, сделанный прогноз и полученные закономерности распределения и миграции ^{90}Sr в биотических компонентах пресноводных экосистем и Чёрного моря после аварии на ЧАЭС имеют практическое значение для целей прогнозирования последствий при возможных аварийных ситуациях в изученном регионе.

Л и т е р а т у р а

1. В.Д. Романенко Основы гидроэкологии: учебник для студентов высших учеб. заведений / В.Д. Романенко. – К.: Генеза, 2004. – 664 с.
2. Д.І. Гудков Радіонукліди в компонентах водних екосистем зони відчуження Чорнобильської АЕС: розподіл, міграція, дозові навантаження, біологічні ефекти: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра біол. наук: спец. 03.00.01 “Радиобиология” / Д.І. Гудков – Київ, 2006. – 34 с.
3. Л. Г. Кулебакина Изучение миграции ^{90}Sr и ^{137}Cs в экосистемах шельфа Чёрного моря и нижнего Днепра после Чернобыльской аварии / Л. Г. Кулебакина // Радиоэкология: успехи и перспективы: междунар. науч. семинар, 3–7 окт. 1994 г.: материалы. – Севастополь, 1996. – С. 127–141.
4. Радиоактивное и химическое загрязнение Днепра и его водохранилищ после аварии на Чернобыльской АЭС: [монография] / [В.Д. Романенко, М.И. Кузьменко, Н.Ю. Евтушенко и др.]; отв. ред. Д.М. Гродзинский. – К.: Наук. думка, 1992. – 193 с.
5. Радиогеоэкология водных объектов зоны влияния аварии на Чернобыльской АЭС: [монография] / под общ. ред. О.В. Войцеховича. – К.: Чернобыль-информ, 1997. – Т. 1. – Мониторинг радиоактивного загрязнения природных вод Украины (обзор исследований, выполненных за период 1986–1996 гг.) / [О.В. Войцехович, В.В. Канивец, Э.Г. Тертышник и др.] – 1997. – 308 с.
6. Kryshev I.I. Radioactive contamination of aquatic ecosystems following the Chernobyl accident / I.I. Kryshev // J. Environ. Radioactivity. – 1995. – Vol. 27, № 3. – P. 207–220.
7. Аналитическая химия стронция / [Н.С. Полуэтков, В.Т. Мищенко, Л.И. Кононенко, С.В. Бельюкова.]; гл. ред. Ю.А. Золотов. – М.: Наука, 1978. – 223 с.
8. Analytical procedures for the determination of strontium radionuclides in environmental materials: analytical methods / B. K. Harvey, R. D. Ibbett, M.B. Lovett, K.J. Williams. – Lowestoft: S.a., 1989. – 33 p.
9. Нормы радиационной безопасности Украины. Дополнение: Радиационная защита от источников потенциального облучения (НРБУ-97/Д-2000): ДНАОП 0.03-3.24-97 (ДГН 6.6.1-6.5.061-98). – [Заменяет: НРБ-76/87 Норми радіаційної безпеки № 4392-87] – К.: МОЗ Украины, 2000. – 121 с. – (Нормативно-директивный документ МОЗ України).