

РАДИОНУКЛИДЫ ^{90}Sr И ^{137}Cs В ГИДРОБИОНТАХ ЧЕРНОГО МОРЯ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Надходження у Чорне море довгоживучих радіонуклідів ^{90}Sr і ^{137}Cs після аварії на ЧАЕС викликало радіоактивне забруднення гідробіонтів моря, що потребувало оцінки і прогнозування ступеня екологічної небезпеки цих радіонуклідів для живих організмів. Тому метою досліджень, проведених нами в післяаварійний період, було: вивчення закономірності концентрування радіонуклідів морськими організмами різних таксономічних груп безпосередньо в природних умовах. Результати спостережень дозволили визначити основні закономірності зміни радіоактивного забруднення гідробіонтів і прибережних вод Чорного моря після аварії на ЧАЕС.

Ключові слова: Чорне море, стронцій-90, цезій-137, гідробіонти, видова специфічність накопичення, закономірність концентрування.

Поступление в Черное море долгоживущих радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs после аварии на ЧАЭС вызвало радиоактивное загрязнение гидробионтов моря, что потребовало оценки и прогноза степени экологической опасности этих радионуклидов для живых организмов. Поэтому целью исследований, проведенных нами в послеаварийный период, было изучение закономерности концентрирования радионуклидов морскими организмами разных таксономических групп в естественных условиях. Результаты наблюдений позволили определить основные закономерности изменения радиоактивного загрязнения гидробионтов и прибрежных вод Черного моря после аварии на ЧАЭС.

Ключевые слова: Черное море, стронций-90, цезий-137, гидробионты, видовая специфичность накопления, закономерность концентрирования.

The entry of the long-term living radionuclides ^{90}Sr and ^{137}Cs to the Black Sea after the Chernobyl NPP accident has caused a radioactive pollution of marine hydrobionts. That has required the estimation and forecasting of a degree of ecological danger of these radionuclides for alive organisms. Therefore the aim of these researches, carried out by us in the after the NPP accident period, was: studying of regularity of radionuclides concentrating by the sea organisms for various taxonomical groups directly in the natural conditions. The results of these investigations have allowed to determine the main regularities of a change of the radioactive pollution of hydrobionts and coastal waters of the Black Sea after the Chernobyl NPP accident.

Kew words: the Black Sea, strontium-90, cesium-137, hydrobionts, species specificity of accumulation, regularity of concentrating.

По современным представлениям поглощение радионуклидов гидробионтами из водной среды происходит многими способами: из раствора, со взвешенными частицами, при дыхании, по трофическим цепям [1; 11; 15]. После аварии на ЧАЭС возникла непредвиденная возможность изучать в природных условиях процессы концентрации и накопления радионуклидов в организмах гидробионтов, обитающих в естественных водоемах с разной степенью радиоактивного загрязнения их биотических компонентов.

В работе представлены: результаты исследования динамики концентрации послеаварийных ^{90}Sr и ^{137}Cs в гидробионтах Черного моря с 1986 по 2010 гг.;

видоспецифичность концентрирования черноморскими гидробионтами изучаемых радионуклидов; анализ и сравнительная оценка коэффициентов накопления (K_n) гидробионтами ^{90}Sr и ^{137}Cs ; оценки масштабов времени уменьшения концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs к доаварийному уровню в гидробионтах и морской воде (среде обитания водных организмов); оценки поглощенных доз для различных видов гидробионтов Черного моря от излучений поставарийных ^{90}Sr и ^{137}Cs в сравнении с таковыми для природного радионуклида ^{210}Po .

Цель исследований состояла в: выявлении закономерностей динамики изменения содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs после аварии на ЧАЭС в гидробионтах Черного

моря, принадлежащих к различным таксономическим группам (водные растения, моллюски, рыбы).

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

– изучить видовые особенности динамики концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в массовых видах гидробионтов Черного моря, выделить индикаторные виды черноморских гидробионтов, которые могут быть обоснованно использованы в качестве тест-объектов для проведения радиоэкологического мониторинга;

– проанализировать изменение концентрации и коэффициентов накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs в гидробионтах Черного моря в зависимости от времени исследования и содержания радионуклидов в водной среде;

– оценить масштабы времени уменьшения концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs к доаварийному уровню в гидробионтах разных таксономических групп;

– рассчитать дозовые нагрузки, полученные гидробионтами различных экологических групп от ионизирующего излучения ^{90}Sr и ^{137}Cs в послеаварийный период.

Материал и методы исследований. Материалом исследования служили результаты определения концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде и гидробионтах Черного моря, отобранные в период 1986–2010 гг. Также использовались база данных ОРХБ по концентрации ^{90}Sr в компонентах экосистем Черного моря с 1986 по 1994 гг. [2] и литературные данные. Оборудование, используемое для отбора проб воды, гидробионтов, донных отложений, исключало возможность дополнительного загрязнения проб радионуклидами. В Черном море пробы отбирали в 9 научно-исследовательских рейсах и в многочисленных экспедициях по Севастопольской морской акватории (рис. 1) в период 1994–2010 гг.

Ст. 1 – Устье р. Черной
44°36.45 N; 33°36.08 E, глубина = 3-6 м

Ст. 2 – б. Южная (Павловский мысок)
44°37.06 N; 33°32.13 E, глубина: 12-15 м

Ст. 3 – Бухта Северная
44°37.63 N; 33°31.90 E, глубина: 10 м

Ст. 4 б. – Карантинная бухта
44°36.97 N; 33°30.30 E, глубина: 5 м

Ст. 5 б. – Стрелецкая
44°36.55 N; 33°28.21 E, глубина: 1-4 м

Ст. 6 – б. Круглая
44°35.95 N; 33°26.65 E, глубина: 1-3 м

Ст. 7 – б. Камышовая
44°34.96 N; 33°25.36 E, глубина: 10 м

Ст. 8 – б. Казачья
44°35.26 N; 33°24.31 E, глубина: 10 м

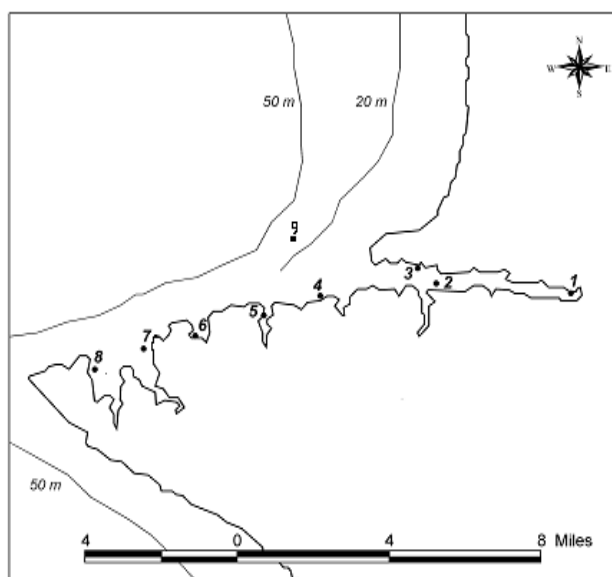


Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб в севастопольских бухтах в период (1994-2010 гг.)

В период 1986-1993 гг. в качестве объектов наблюдений нами изучались массовые виды морских организмов из акватории Севастопольской бухты, восточного и южного побережий Крыма, в том числе в районе Карадагского морского заповедника. В

указанный период изучалось радиоактивное загрязнение ^{90}Sr и ^{137}Cs 31 вида морских растений и животных: 9 видов водных растений, 5 видов моллюсков, 1 вида ракообразных и 16 видов рыб (табл. 1).

Таблица 1

**Перечень отобранных видов черноморских гидробионтов
для определения в них концентраций ^{90}Sr и ^{137}Cs
(1 – водные растения; 2 – моллюски; 3 – ракообразные; 4 – рыбы)**

№	Русское название объекта	Латинское название объекта
1	Цистозира косматая	<i>Cystoseira crinita</i> (Desf.) Bory
	Цистозира бородатая	<i>Cystoseira barbata</i> (Good. et Wood.) C. Agardh
	Падина павлинья	<i>Padina pavonia</i> (Linne)
	Церамиум красный	<i>Ceramium rubrum</i> (Huds.) Ag.
	Филлофора ребристая	<i>Phyllophora nervosa</i> (Hauck)
	Энтероморфа линза	<i>Enteromorpha linza</i> (L.) J. Agardh
	Кладофора	<i>Cladophora</i> sp. (Kutz)
	Ульва	<i>Ulva rigida</i> (C. Agardh)
	Зостера морская	<i>Zostera marina</i> (Linne)

2	Мидия средиземноморская	<i>Mytilus galloprovincialis</i> (Lamarck)
	Рапана	<i>Rapana venosa</i> (Valenciennes)
	Мия	<i>Mya arenaria</i> (Linne)
	Фазеолина	<i>Modiolus phaseolinus</i> (Philips)
3	Риссоа великолепная	<i>Rissoa splendida</i> (Eichwald)
4	Травяной краб	<i>Carcinus maenas</i> (Linne)
	Катран	<i>Squalus acanthias</i> (Linne)
	Морская лисица	<i>Raja clavata</i> (Linne)
	Морской кот	<i>Dasyatis pastinaca</i> (Linne)
	Черноморская ставрида	<i>Trachurus mediterraneus ponticus</i> (Aleev)
	Рулена	<i>Symphodus tinca</i> (Linne)
	Султанка	<i>Mullus barbatus ponticus</i> (Essipov)
	Морской ерш	<i>Scorpaena porcus</i> (Linne)
	Бычок кругляк	<i>Neogobius melanostomus</i> (Pallas)
	Морской дракон	<i>Trachinus draco</i> (Linne)
	Ласкирь	<i>Diplodus annularis</i> (Linne)
	Лобан	<i>Mugil cephalus</i> (Linne)
	Сингиль	<i>Liza aurata</i> (Risso)
	Черноморская камбала-калкан	<i>Psetta maxima maeotica</i> (Pallas)
	Черноморский шпрот	<i>Sprattus sprattus phalericus</i> (Risso)
	Черноморский мерланг	<i>Merlangius merlangus euxinus</i> (Nordmann)
	Черноморская хамса	<i>Engraulis encrasicolus ponticus</i> (Aleksandrov)

В последующие годы (с 1994 г.) внимание было сосредоточено на отдельных индикаторных видах водорослей, моллюсков и рыб при проведении специального радиоэкологического мониторинга севавтопольских бухт в период с 1986-2010 гг.

Методы определения ^{90}Sr и ^{137}Cs в объектах окружающей среды соответствовали общепринятым в мировой практике [3, 4, 13, 16, 18, 19]. Измерение активности ^{90}Sr производили по черенковскому излучению его дочернего продукта ^{90}Y с использованием низкофонового жидкостного сцинтилляционного счетчика (LSC) LKB «Quantulus 1220». Гамма-спектрометрические измерения концентрации ^{137}Cs в пробах проводились на сцинтилляционных NaI(Tl) детекторах со свинцовой защитой и усилителями ORTEC 855 Dual Spec AMP, Canberra AMP 2026, а также с помощью торцевого сверхчистого германиевого детектора Canberra-Packard XtRa GX2019. Относительная погрешность полученных результатов не превышала 20 %.

Контроль корректности методов и достоверности полученных результатов осуществлялся путем постоянного участия в международной интеркалибрации под эгидой МАГАТЭ (Вена, Австрия) и Национальной Лаборатории (РИСОЕ, Дания).

Результаты исследований и их обсуждение

Видоспецифичность концентрирования радионуклидов водорослями и высшими водными растениями. Получено, что непосредственно после аварии на ЧАЭС концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в водных растениях Черного моря возросли в 85 и 68 раз по сравнению с доаварийным периодом, когда средние значения концентраций радионуклидов, например, в цистозире составляли 1.5 и 3.5 Бк кг⁻¹ сырой массы, соответственно [2, 7, 11].

Согласно анализу полученных результатов различные виды водных растений Черного моря (табл. 1), время и район отбора которых совпадал, можно расположить по убывающей способности концентрировать ^{90}Sr в следующей последовательности:

Padina pavonia > *Cystoseira rinita* > *Phyllophora nervosa* > *Ceramium rubrum* > *Cladophora* > *Zostera marina* > *Ulva rigida*. Близкие результаты были получены и в отношении ^{137}Cs , анализ видоспецифичности накопления которого черноморскими водными растениями в 1986 г. представлен на рисунке 2.

Полученные результаты и особенности биологии черноморской цистозеры [6] свидетельствуют, что бурые водоросли из рода Цистозера (*Cystoseira*) являются наиболее подходящим индикаторным объектом в отношении изучения радиоактивного загрязнения ^{90}Sr и ^{137}Cs в системе радиоэкологического мониторинга среды. Кроме того, в 60-е и 70-е годы XX века радиоэкологическому изучению черноморской цистозеры уделялось большое внимание [11, 12], что позволяет сравнивать полученные нами данные с доаварийными.

Видоспецифичность концентрирования радионуклидов моллюсками. Определение концентрации ^{90}Sr производили, как правило, в раковинах, а ^{137}Cs – в мягких тканях (теле) моллюсков, перечень видов которых представлен в таблице 1. Наши наблюдения показали, что в период 1986-1989 гг. наибольшая концентрация радионуклидов определялась в средиземноморской мидии (*Mytilus galloprovincialis*). Так концентрации ^{90}Sr в мидиях были в среднем в 1.7 раз больше, чем в моллюске из рода мия, и в 2.6 раза выше, чем в раковинах фазеолины [2, 7, 14]. Поэтому мидия была выбрана нами в качестве индикаторного объекта при изучении радиоактивного загрязнения моллюсков Черного моря. Учитывалась также и особенность биологии гидробионта [17].

Согласно нашим данным, средняя концентрация ^{137}Cs в мягких тканях мидий в мае 1986 г. была в пределах 16.0±2.4 Бк кг⁻¹ сырой массы, что в 3 раза превышало доаварийный уровень (~ 5 Бк кг⁻¹ сырой массы). В 1987 г. концентрация ^{137}Cs в мидиях не зависела от района отбора этих моллюсков [2, 7, 14].

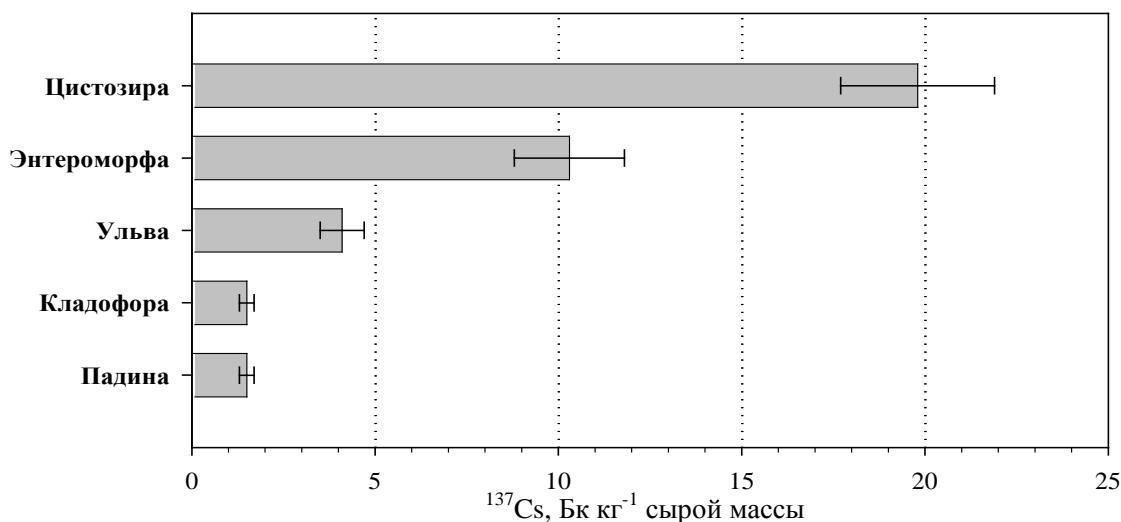


Рис. 2. Средние концентрации ¹³⁷Cs в водорослях Черного моря в 1986 г. (по данным: [2, 7])

В мае-июле 1986 г. наибольшая концентрация ⁹⁰Sr – 28.5±5.7 Бк кг⁻¹ сырой массы (доаварийный уровень ~ 5.5 Бк кг⁻¹) была обнаружена в мидиях, отобранных в юго-восточной части Крыма (район Карадага). В 1987 г. наибольшие концентрации ⁹⁰Sr (43.0±8.6 и 49.0±9.8 Бк кг⁻¹ сырой массы) отмечались в моллюсках, отобранных в северо-западной части моря и в районе г. Одесса, соответственно. Это было связано со вторичным поступлением растворенного ⁹⁰Sr в море со стоком Днепра [14, 18].

Видоспецифичность концентрирования радионуклидов ракообразными. Уровни радиоактивного загрязнения ракообразных Черного моря изучались на примере травяного краба (*Carcinus maenas*) (табл. 1). Результаты этих наблюдений приведены на рисунке 3.

Получено, что после аварии на ЧАЭС концентрация ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в крабах не превышала ПДК

для «рыбы и морепродуктов», принятых в Украине [10]. Коэффициенты накопления ⁹⁰Sr изменялись в пределах 90.9-236.5, составляя в среднем 156.0, а ¹³⁷Cs – в пределах 27.0–175.5, составляя в среднем 90.6. Кроме того, за пять лет после аварии концентрация ¹³⁷Cs в травяном крабе уменьшилась в 12.5 раз, а ⁹⁰Sr – в 3.2 раза.

Видоспецифичность концентрирования радионуклидов рыбами. Для изучения распределения ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в рыбах Черного моря в период 1986-1993 гг. было проанализировано 16 видов пелагических и придонных рыб разных трофических уровней (табл. 1). Анализ полученных результатов показал, что наибольшие концентрации ⁹⁰Sr в 1986 г. были зарегистрированы у придонных рыб – камбалы-калкан и ерша (рис. 4), а ¹³⁷Cs – у черноморской ставриды, а также в печени хрящевых рыб, таких как катран и морской кот (рис. 5).

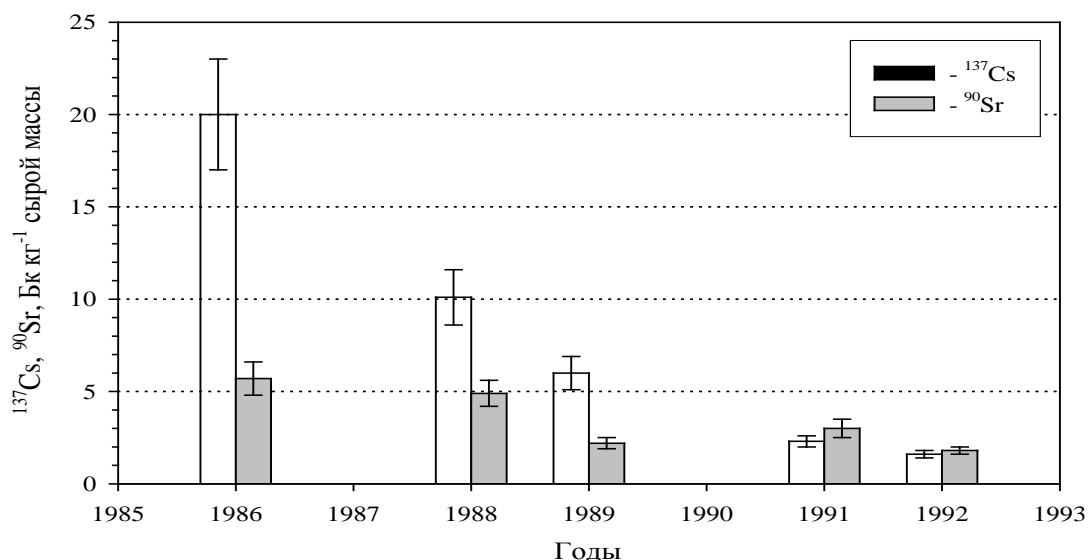


Рис. 3. Средние концентрации ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в черноморских травяных крабах *Carcinus maenas* в период 1986-1992 гг. (по данным: [2; 7; 14])

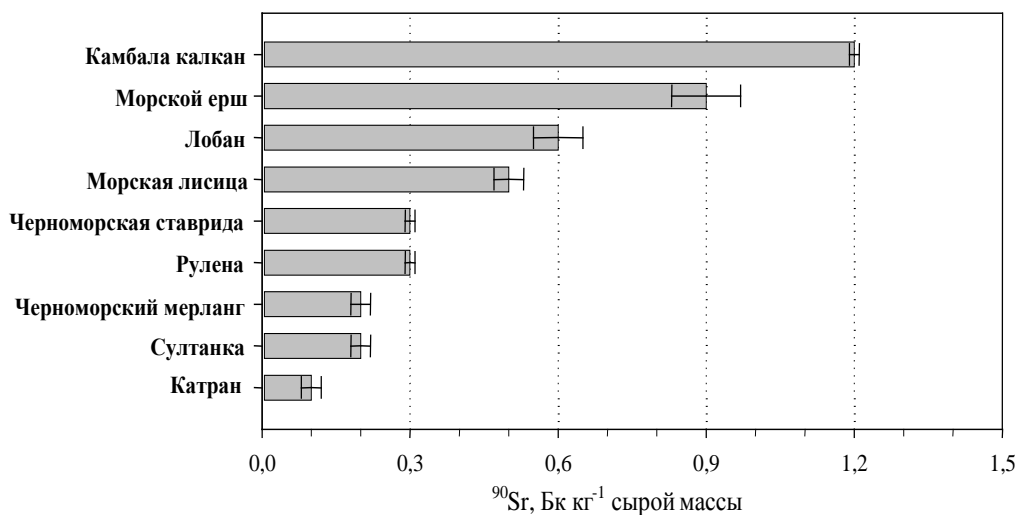


Рис. 4. Концентрации ^{90}Sr в черноморских рыбах в 1986 г. (по данным: [2; 7; 14])

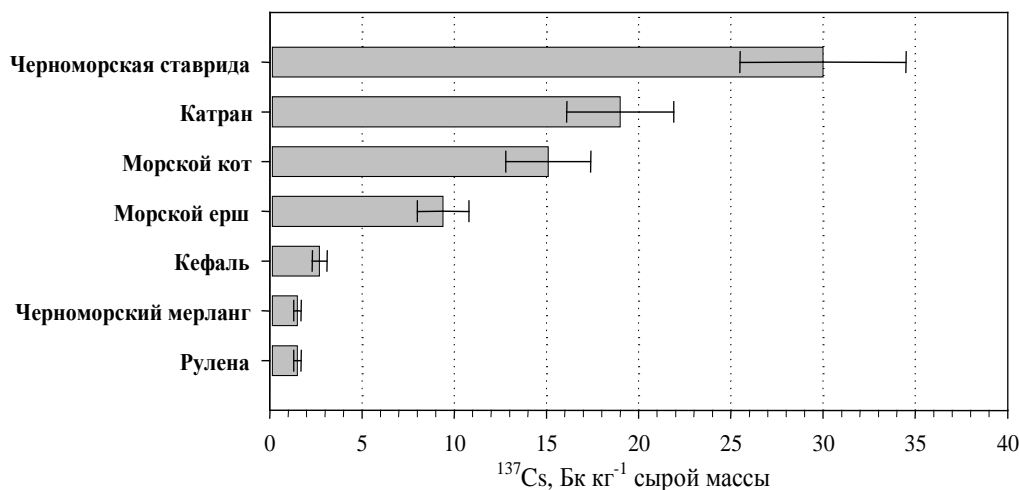


Рис. 5. Концентрации ^{137}Cs в черноморских рыбах в 1986 г. (по данным: [2; 7; 14])

При этом концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в период 1986-1993 гг. во всех видах рыб были значительно ниже ПДК [10]. Доаварийные уровни концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в рыбах составляли 0.2 и 0.3 Бк кг⁻¹ сырой массы, соответственно [2; 11; 12]. Коэффициенты накопления ^{90}Sr рыбами в среднем составляли 18, а ^{137}Cs – 70 единиц.

Зависимость концентрации поставарийных радионуклидов, в частности ^{90}Sr , от вида рыб, отобранных в период 1994-1998 гг., представлена на рисунке 6. Для радиоэкологического мониторинга экосистем севастопольских бухт в период 1994-2010 гг. с учетом полученных результатов (рис. 6) и требований к отбору проб (быстрая реакция гидробионтов на радиоактивное загрязнение среды, частота встречаемости в районе отбора, невысокая себестоимость при отборе проб), тест-объектом среди исследованных видов рыб был выбран мерланг (*Merlangius merlangus euxinus*).

Закономерности изменения концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в гидробионтах Черного моря. В рамках системы радиоэкологического мониторинга севастопольских бухт с определенной периодичностью измерялись концентрация ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде

и в выбранных в качестве тест-объектов цистозире (*Cystoseira crinita*), мидиях (*Mytilus galloprovincialis*) и мерланге (*Merlangius merlangus euxinus*) в период 1986-2010 гг. Пробы отбирались на реперных станциях (рис. 1) в поверхностном слое моря или на глубинах обитания морских организмов. Пробы воды и гидробионтов отбирались одновременно. При изучении закономерности концентрирования радионуклидов морскими организмами разных таксономических групп в естественных условиях использовали метод описания процесса экспоненциальной функцией и экстраполяции аппроксимирующих функций [8, 9]. В этом случае период уменьшения концентрации радионуклидов вдвое (T_{05}) является постоянной времени экспоненциальных функций и может использоваться в качестве параметра для целей прогнозирования методом экстраполяции аппроксимирующей прямой.

Результаты радиоэкологического мониторинга экосистем севастопольских бухт, полученные в период 1986-2010 гг. в отношении загрязнения послеаварийными радионуклидами ^{90}Sr и ^{137}Cs , представлены на рисунках 7, 8.

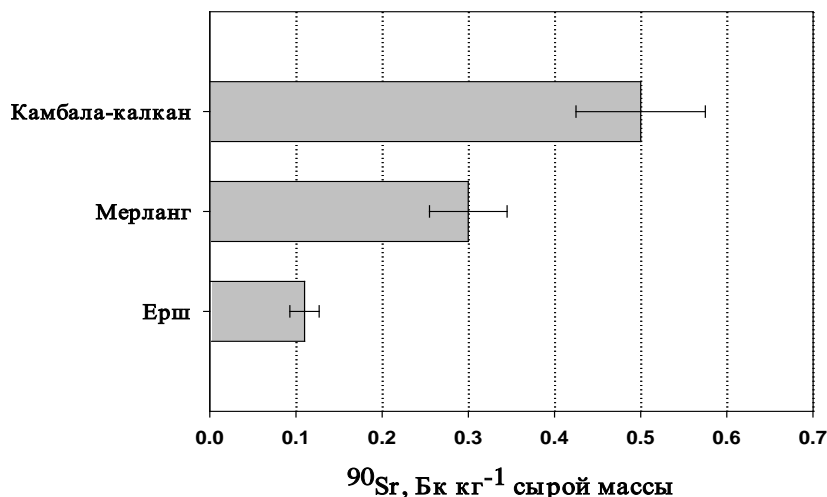


Рис. 6. Концентрации ^{90}Sr в черноморских рыбах в период 1994-1998 гг. (по данным: [2; 7; 14])

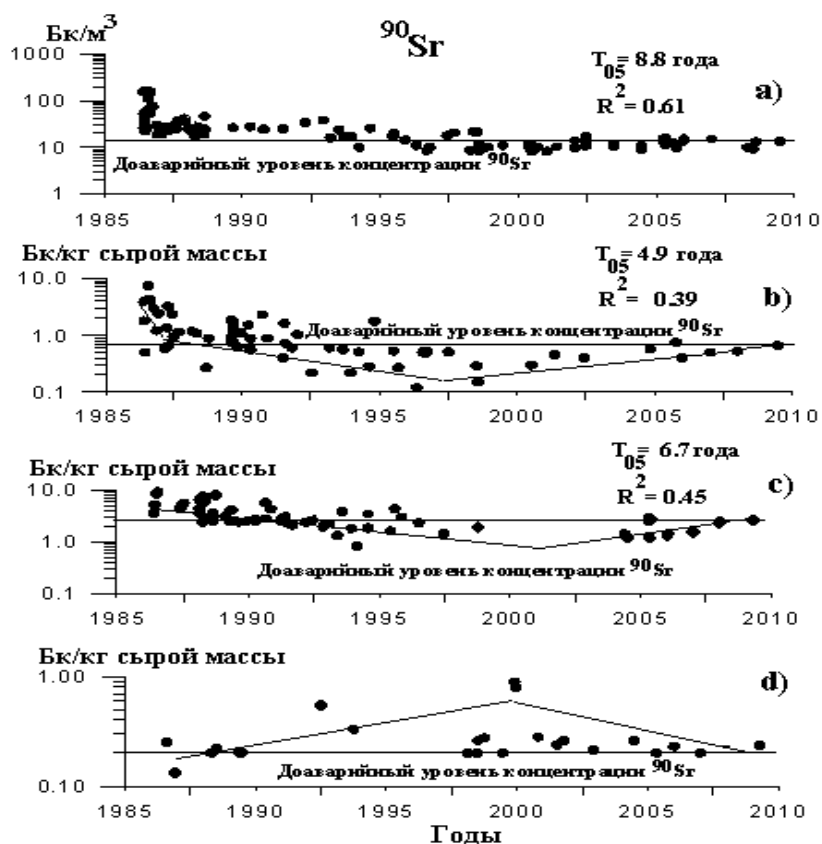


Рис. 7. Динамика концентрации ^{90}Sr в воде севастопольских бухт (а), в цистозире (*Cystoseira crinita*) (б), моллюсках (*Mytilus galloprovincialis*) (с), рыбах (*Merlangius merlangus euxinus*) (д) в период 1986–2010 гг.

Получено (рис. 7, 8), что с 1987 г. отмечалось экспоненциальное уменьшение концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде бухт с периодом уменьшения вдвое ($T_{0.5}$) – 8.8 и 6.1 года, в бурых водорослях за – 4.9 и 4.7 года, а в моллюсках за – 6.7 и 7.5 года, соответственно. Таким образом, нами установлено, что в результате радиоактивного распада, а также в результате комплексного воздействия гидрологических и биогеохимических процессов, время пребывания атомов ^{90}Sr и ^{137}Cs в акватории севастопольских бухт, по результатам наблюдений 1987-2010 гг.,

оценивается в 25-45 лет, что в 3-6 раз меньше физического «времени жизни» атомов этих радионуклидов. Отмечено, что после аварии на ЧАЭС концентрация ^{90}Sr и ^{137}Cs в черноморских моллюсках и рыбах не превышала ПДК для «рыбы и морепродуктов» – 35 и 150 Бк кг⁻¹ сырой массы, соответственно, принятой в Украине [10]. С 1999 г. к 2006 г., в целом, концентрации радионуклидов в воде и гидробионтах этого района моря снизились до уровней, предшествовавших аварии на ЧАЭС (рис. 7, 8).

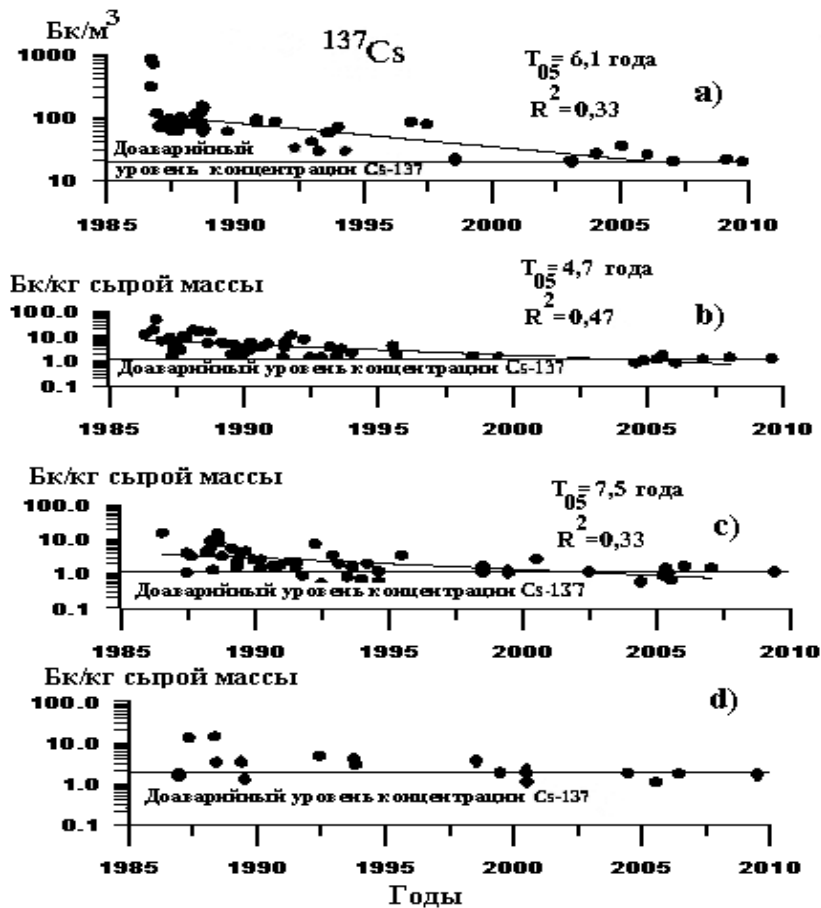


Рис. 8. Динамика концентрации ^{137}Cs в воде севавтопольских бухт (а), в цистозире (*Cystoseira crinita*) (b), моллюсках (*Mytilus galloprovincialis*) (с), рыбах (*Merlangius merlangus euxinus*) (d) в период 1986-2010 гг.

Результаты анализа, выраженные в виде коэффициентов накопления (K_H) относительных уровней концентрирования ^{90}Sr и ^{137}Cs черноморскими гидробионтами всех исследованных нами таксономических групп, представлен (рис. 9) на примере K_H , рассчитанных для цистозир. Рассмотрение зависимости коэффициентов накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs черноморскими гидробионтами от времени и как функции концентрации в водной среде показало (рис. 9), что

значения K_H имели достаточно высокую вариабельность, особенно в диапазоне низких значений концентрации радионуклидов в воде. Тем не менее, анализ представленных данных позволил в качестве статистически достоверной принять гипотезу о независимости K_H как от времени, так и от уровней загрязнения воды ^{90}Sr и ^{137}Cs , что полностью соответствует современным теоретическим представлением в радиоэкологии [5, 12].

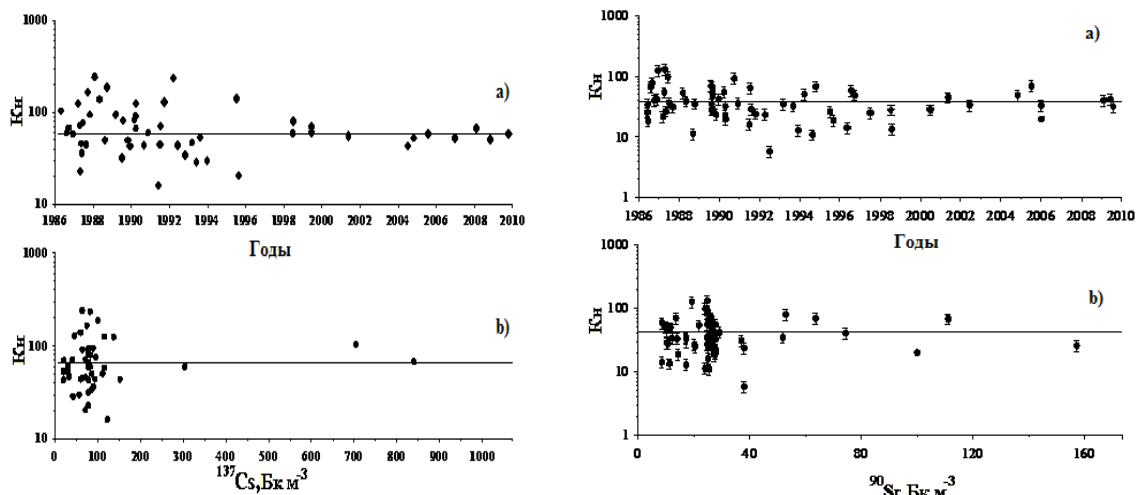


Рис. 9. Динамика (а) и зависимость (b) коэффициентов накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr цистозирой (*Cystoseira crinita*) от концентрации этих радионуклидов в воде в период 1986-2010 гг.

Дозовые нагрузки на гидробионтов в Черном море от излучения ^{90}Sr и ^{137}Cs после аварии на ЧАЭС, согласно шкале Зон хронического ионизирующего облучения [21], не достигли значений,

способных оказать регистрируемое влияние за весь послеварийный период и были в 5–18 раз ниже дозовых нагрузок [20] от излучения природного радионуклида ^{210}Po (рис. 10).

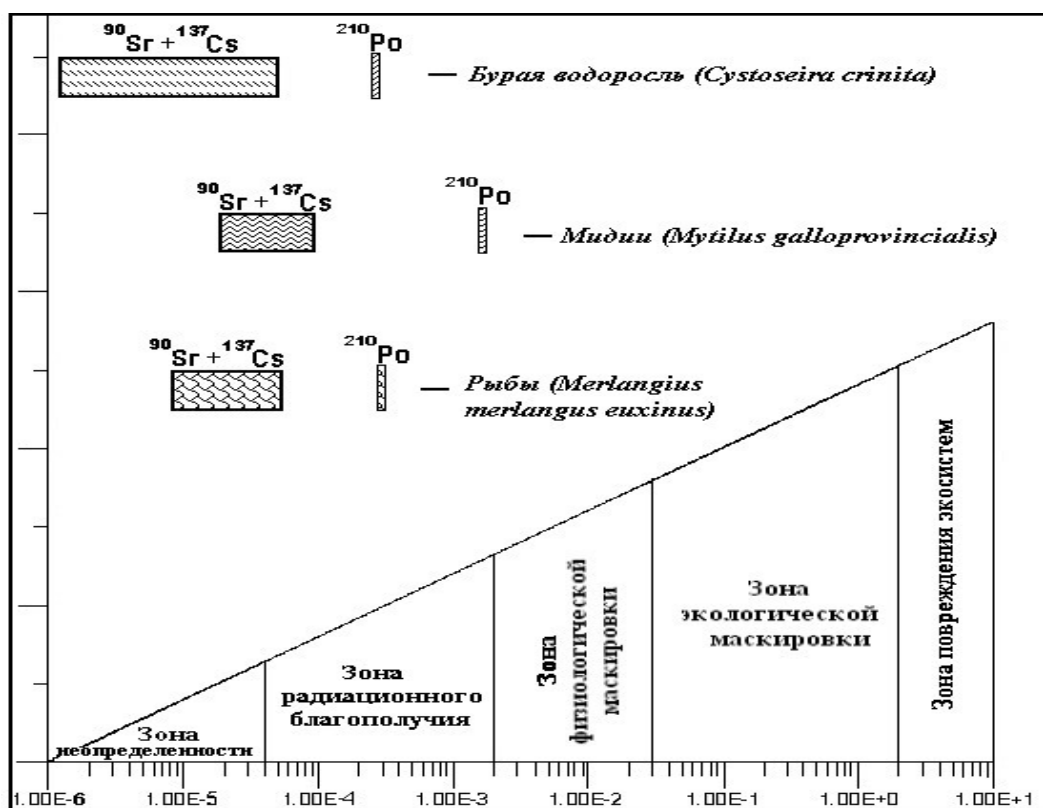


Рис. 10. Сравнительные дозовые нагрузки на черноморских гидробионтов от ионизирующего излучения послеварийных ^{90}Sr и ^{137}Cs , природного ^{210}Po

Таким образом, в результате радиоэкологического мониторинга экосистемы севастопольских бухт, проводимого с 1986 по 2010 гг., установлены закономерности изменения концентраций послеварийных ^{90}Sr и ^{137}Cs в компонентах экосистемы, определены дозовые нагрузки на черноморских гидробионтов от ионизирующего излучения ^{90}Sr и ^{137}Cs . Радиоэкологический мониторинг севастопольских бухт, выполняемый ОРХБ ИнБЮМ, служит для ведения оперативного контроля за состоянием среды и для определения количественных характеристик радиоактивного загрязнения черноморских гидробионтов ^{90}Sr и ^{137}Cs после аварии на ЧАЭС.

Выводы

1. Определены индикаторные виды гидробионтов, для которых характерны общие закономерности изменения концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в биотических компонентах экосистем. Для Черного моря таковыми являются: *Cystoseira crinita* (Desf.) Vory (водоросли), *Mytilus galloprovincialis* Lmk. (моллюски), *Psetta maxima maeotica* (Pallas) и *Merlangius merlangus euxinus* (Nordmann) (рыбы).

2. Тенденции изменения концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде и гидробионтах Черного моря во времени, с достаточной степенью адекватности, описываются экспоненциальными функциями. Определены пе-

риоды уменьшения концентрации радионуклидов вдвое: в воде – 8.8, 6.1; водорослях – 4.9, 4.7; моллюсках – 6.7-7.5 года, соответственно. Концентрации радионуклидов в воде, гидробионтах Черного моря района Крымского побережья с 1999 г. к 2010 г. снизились до уровней, предшествовавших аварии на ЧАЭС, а также за весь период наблюдений во всех видах гидробионтов не превышали ПДК.

3. Установлено, что диапазон изменения коэффициентов накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs для черноморских гидробионтов не зависел как от времени, так и от уровней загрязнения воды ^{90}Sr и ^{137}Cs , что полностью соответствует современным теоретическим представлением в радиоэкологии.

4. Рассчитанные дозовые нагрузки, полученные гидробионтами от излучения ^{90}Sr и ^{137}Cs после аварии на ЧАЭС, согласно шкале Зон хронического ионизирующего облучения, не достигли значений, способных оказать регистрируемое влияние за весь послеварийный период.

5. Используемые подходы, сделанный прогноз и полученные закономерности распределения и миграции ^{90}Sr и ^{137}Cs в компонентах экосистем Черного моря после аварии на ЧАЭС имеют практическое значение для целей прогнозирования последствий при подобных возможных аварийных ситуациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Апплби Л. Дж., Девелл Л., Мишра Ю. К. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиоэкология после Чернобыля: Пер. с англ. / Под ред. Ф. Уорнера и Р. Харрисона. – М.: Мир, 1999. – 512 с.
2. База данных ОРХБ (за период 1964–2006 гг.): Вода. Гидробионты. Донные отложения [Электронный ресурс]; разработана Д. Б. Евтушенко, В. Н. Егоровым, 1992. – Севастополь: ОРХБ, ИнБЮМ, 2006. – Систем. требования: Pentium-266; 32 Mb RAM; Windows 98; программный пакет Paradox. – Название с титул. экрана.
3. Вакуловский С. М., Лишевская М. О., Никитин А. И., Чумичев В. Б., Шкуро В. Н. Методика концентрирования радиоцезия из морской воды на волокнистых сорбентах // Труды ГОИН. – 1985. – Вып. 174. – С. 83–88.
4. Временные методические указания по организации и проведению государственного надзора за соблюдением требований к составу вод над шельфом и донных отложений, в том числе при работах на континентальном шельфе / Под ред. А. И. Симонова. – М.: ГОИН, 1981. – 31 с.
5. Егоров В. Н., Демина Н. В., Кулебакина Л. Г. Математическое описание кинетики обмена элементов-химических аналогов морскими макрофитами. // Известия Академии Наук СССР. Серия Биологическая. – М.: Академия Наук СССР, 1989. – № 1. – С. 79–88.
6. Калугина-Гутник А. А. Фитобентос Черного моря. – К.: Наукова думка, 1975. – 247 с.
7. Кулебакина Л. Г. Изучение миграции ^{90}Sr и ^{137}Cs в экосистемах шельфа Черного моря и нижнего Днепра после Чернобыльской аварии // Материалы международного семинара «Радиоэкология: успехи и перспективы», 3–7 октября 1994 г., Севастополь. – Севастополь: ИнБЮМ. – 1996. – С. 127–141.
8. Мирзоева Н. Ю. Розподіл і міграція ^{90}Sr у компонентах екосистем басейну Дніпра і Чорного моря після аварії на ЧАЕС: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук: спец. 03.00.17 – «Гідробіологія». – Севастополь: ООО «Рибест», 2008. – 23 с.
9. Налимов В. В. Теория эксперимента [Текст] / В. В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 207 с.
10. НРБУ–97/Д–2000. 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 України, 2000. – 121 с. – (Нормативно-директивний документ МОЗ України).
11. Поликарпов Г. Г. Радиоэкология морских организмов / Под ред. В. П. Шведова. – М.: Атомиздат, 1964. – 295 с.
12. Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н. Морская динамическая радиохемозология. – М.: Энергоатомиздат. 1986. – 177с.
13. Полуэтков Н. С., Мищенко В. Т., Кононенко И. И., Бельтюкова С. В. Аналитическая химия стронция. – М.: Наука, 1978. – 223 с.
14. Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н., Гулин С. Б., Стокозов Н. А., Лазоренко Г. Е., Мирзоева Н. Ю., Терещенко Н. Н., Цыцугина В. Г., Кулебакина Л. Г., Поповичев В. Н., Коротков А. А., Евтушенко Д. Б., Жерко Н. В., Малахова Л. В. / Под ред. Г. Г. Поликарпова и В. Н. Егорова. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2008. – 667 с.
15. Романенко В. Д. Основы гидроэкологии: учебник для студентов высших учебных заведений. – К.: Генеза, 2004. – 664 с.
16. Справочник по прикладной статистике / Под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана и Ю. Н. Тюрина. – М.: Финансы и статистика, 1989. – Т. 1. – 510 с.
17. Финенко Г. А., Романова З. А., Аболмасова Г. И. Экологическая энергетика черноморской мидии // Биоэнергетика гидробионтов / Под ред. Д. Е. Шульмана и Г. А. Финенко. – К.: Наукова думка, 1990. – С. 32–72.
18. Buesseler K. O., Livingston H. D. Natural and Man-Made Radionuclides in the Black Sea // Radionuclides in the Oceans. Input and Inventories. – IPSN, Editions de Physique. – 1996. – P. 201–217.
19. Harvey B. K., Ibbett R. D., Lovett M. B., Williams K. J. Analytical procedures for the determination of strontium radionuclides in environmental materials // Aquatic Environmental Protection: Analytical Methods. – Lowestoft, 1989 – 33 p.
20. Lazorenko G. E., Mirzoyeva N. Yu. Radiological doses to marine biota // Mar. Environ. Assessment of the Black Sea: working material reg. co-oper. proj. RER/2/003. – Vienna, Austria: IAEA, 2004. – P. 174–175.
21. Polikarpov G. G. Conceptual model of responses of organisms, populations and ecosystems in all possible dose rates of ionizing radiation in the environment / G. G. Polikarpov // RADOС 96–97, Norwich/Lowestoft, 8–11 Apr., 1997. Radiation Protection Dosimetry. – 1998. – Vol. 75, № 1–4. – P. 181–185.

Рецензенти: Терещенко Н. Н., к.б.н., ст. науч. сотрудник;

Егоров В. Н., чл.-корр. НАН України, професор, д.б.н., гл. науч. сотрудник

© Мирзоева Н. Ю., 2011

Стаття надійшла до редколегії 11.07.2011 р.