

Н.Ю.Мирзоева, В.Н.Егоров, С.И.Архипова,
Н.Ф.Коркишко, Л.В.Мигаль

Институт биологии южных морей НАН Украины, г.Севастополь

**ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ^{90}Sr
В КОМПОНЕНТАХ ЭКОСИСТЕМЫ СЕВАСТОПОЛЬСКИХ БУХТ
ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

Представлены результаты исследований экосистемы севастопольских бухт, проводимые с 1986 по 2004 гг., в отношении загрязнения чернобыльским ^{90}Sr . Установлены тенденции изменения содержания ^{90}Sr в воде, реперных видах водорослей, моллюсков, рыб, а также в донных отложениях. Показано, что закономерности изменения концентрации ^{90}Sr в воде, водорослях и моллюсках с достаточной степенью адекватности описываются экспоненциальными функциями. Определены периоды экспоненциального уменьшения вдвое концентрации ^{90}Sr в воде, бурых водорослях и мидиях. Оценена интенсивность самоочищения водной экосистемы севастопольских бухт от ^{90}Sr .

В первые месяцы после аварии на Чернобыльской АЭС акватория Черного моря подверглась острому радиоактивному загрязнению. В мае 1986 г. на поверхность Черного моря выпало 0,3 ПБк ^{90}Sr [1, 2]. Последующее радиоактивное загрязнение водной экосистемы Черного моря определялось стоком рек, преимущественно Днепра и Дуная, а также ^{90}Sr мог поступать в акваторию севастопольских бухт за счет водопользования города из Северо-Крымского канала. Определено, что в 1986 – 1995 гг. с водами Днепра и Дуная в Черное море поступило 114,7 ТБк ^{90}Sr , что составляет 38,2 % от атмосферного поступления радионуклидов [3]. По литературным данным, ^{90}Sr в большей степени переходит в водную среду из попавших в нее радиоактивных аэрозолей или твердых частиц [4, 5], распространяется по акватории моря и перераспределяется между компонентами его экосистем в результате комплексного влияния физических и биогеохимических процессов, определяющих характеристики самоочищения моря [3].

Цель радиоэкологического исследования водных экосистем севастопольских бухт (1986 – 2004 гг.) заключалась в следующем:

- определить уровни загрязнения ^{90}Sr чернобыльского происхождения: воды, донных отложений и наиболее массовых видов гидробионтов;
- изучить динамические закономерности перераспределения ^{90}Sr в воде, водорослях, моллюсках и рыбах;
- оценить запас и интенсивность самоочищения севастопольской бухты в отношении ^{90}Sr .

Материал и методы исследования. Объектами наблюдений служили вода, донные отложения, гидробионты севастопольских бухт, отобранные в 1986 – 2004 гг. В качестве реперных биологических объектов радиоэкологического мониторинга исследовались бурые водоросли *Cystoseira crinita* (Desf.) Vory, моллюски *Mytilus galloprovincialis* Lam. и рыбы *Merlangius merlangus euxinus* (Nordmann). Координаты станций отбора проб представлены в табл.1.

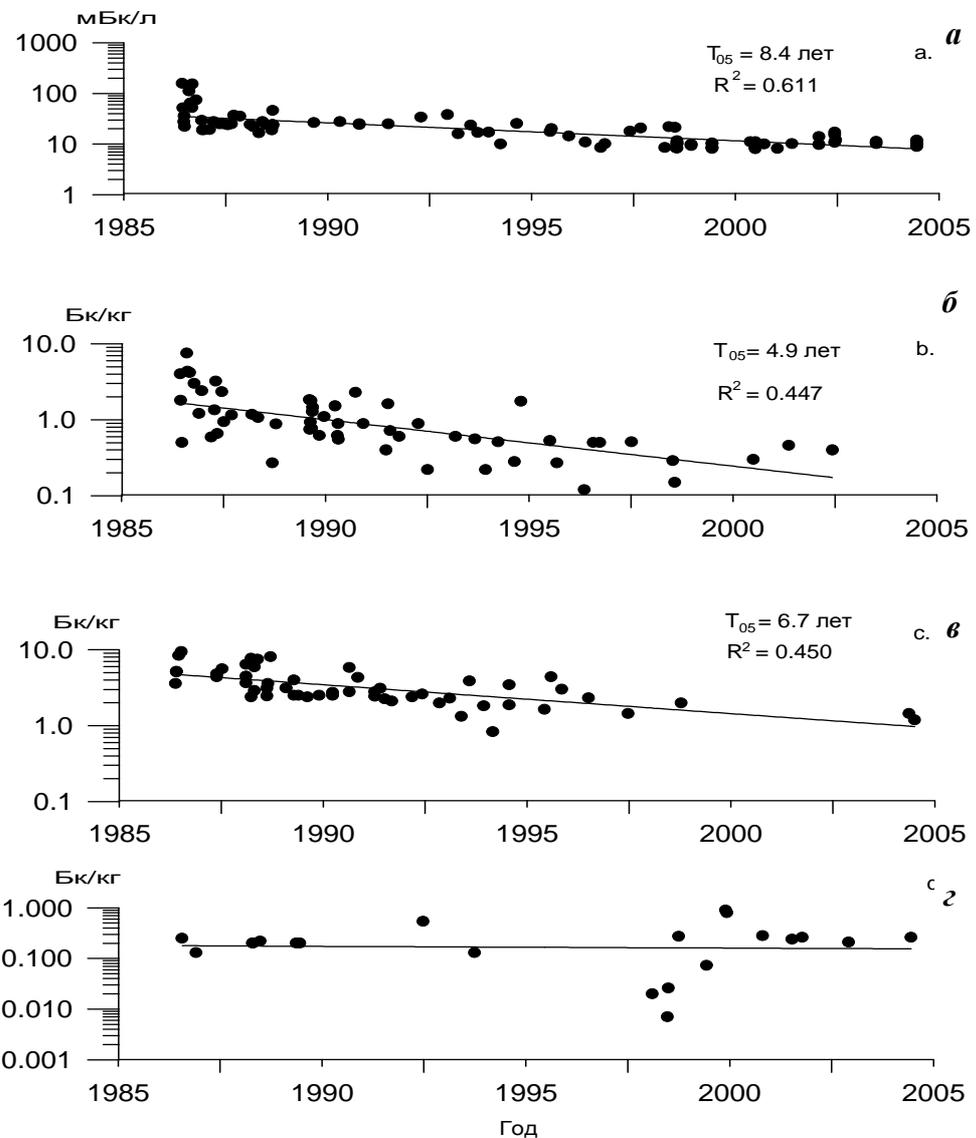
© Н.Ю.Мирзоева, В.Н.Егоров, С.И.Архипова, Н.Ф.Коркишко, Л.В.Мигаль, 2005

Т а б л и ц а 1. Координаты станций отбора проб.

№ станций, название места отбора	координаты		глубина, м
	с.ш.	в.д.	
1 устье р.Черной	44°36'45	33°36'08	3 – 6
2 бух.Южная (Павловский мыс)	44°37'06	33°32'13	12 – 15
3 бух.Северная (коррозионная ст.)	44°37'63	33°31'90	10
4 Мартынова бухта	44°36'97	33°30'30	5
5 бух.Стрелецкая	44°36'55	33°28'21	1 – 4
6 бух.Круглая	44°35'95	33°26'65	2 – 5
7 бух.Камышовая	44°34'96	33°25'36	10
8 бух.Казачья	44°35'26	33°24'31	2 – 5
9 район вылова рыбы	44°36'09	33°28'60	20 – 30

Методическую базу составляли радиохимический [6, 7] анализ проб, математическая обработка данных, моделирование [8] изучаемых процессов в системе мониторинга. Контроль за достоверностью полученных результатов исследования осуществлялся посредством периодического проведения международной интеркалибрации используемых методов под эгидой МАГАТЭ (Вена, Австрия) и РИСОЕ Национальной Лаборатории (РИСОЕ, Дания). Радиоспектрометрические измерения содержания ^{90}Sr выполнялись по черенковскому излучению на низкофоновой жидкостно-сцинтилляционной установке «*LKB Quantulus 1220*». Относительная погрешность измерений не превышала 15 %.

Результаты исследований и обсуждение. Динамика изменения концентрации ^{90}Sr в воде и гидробионтах сева­стопольских бухт показана на рис.1. После резкого увеличения содержания ^{90}Sr в воде сева­стопольских бухт в мае 1986 г. (до $65 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$) было отмечено быстрое снижение его концентрации к концу года, что, по нашему мнению, было обусловлено водообменном между бухтой Севастопольской и открытой акваторией Черного моря, а также перераспределением этого радионуклида между компонентами экосистемы. В последующем концентрация ^{90}Sr в воде сева­стопольских бухт уменьшалась экспоненциально [8], независимо от сезона отбора проб, с постоянной времени уменьшения концентрации вдвое за каждые 8,4 года (рис.1). С 1999 г. к настоящему времени (2004 г.) наблюдается общее снижение концентрации ^{90}Sr в воде сева­стопольских бухт к уровням, регистрируемым до аварии на Чернобыльской АЭС ($15 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$). При этом в акватории бухт, в которые производится аварийный сброс сточных вод, отмечалось несколько повышенное содержание ^{90}Sr в воде ($43,0 \pm 2,0 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ в 1996 г.; $57,6 \pm 2,9 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ в 1998 г.; $44,8 \pm 2,3 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ в 2004 г.) (табл.1, ст.4). Данный факт может быть объяснен подачей днепровской воды через Северо-Крымский канал в этот период для водоснабжения сева­стопольского региона и ее поступлением в акваторию бухт со сточными водами из канализационных отводов. Согласно литературным данным [9 – 12], содержание ^{90}Sr в воде р.Днепр в 1999 – 2000 гг. изменялось от 77,0 до $285,0 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, что было на порядок выше определяемой нами концентрации ^{90}Sr в черноморской воде.



Р и с . 1 . Динамика изменения концентрации ^{90}Sr в воде (а), бурых водорослях *Cystoseira crinita* (б), моллюсках *Mytilus galloprovincialis* (в), рыбах *Merlangius merlangus euxinus* (г).

В 1986 г. максимальная концентрация ^{90}Sr в сырой массе цистозирры была равна $7,8 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ [13], что превысило в 2 раза максимальное значение концентрации ^{90}Sr в этом объекте ($4,7 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ сырой массы), регистрируемое до аварии на ЧАЭС. Содержание ^{90}Sr в *Cystoseira crinita* и *Mytilus galloprovincialis*, аналогично тенденции изменения концентрации этого радионуклида в морской воде, продолжало уменьшаться, снизившись сегодня к дочернобыльским уровням. В рыбах севастопольских бухт концентрация ^{90}Sr в 1986 г. была на порядок выше, чем в 1989 – 2004 гг., но не превышала максимальных уровней 1965 – 1969 гг. [14, 15]. Зависимости изменения содержания ^{90}Sr в гидробионтах (результаты представлены на сырую массу),

аппроксимированные экспоненциальными функциями [8], показали, что периоды снижения концентрации ^{90}Sr вдвое в бурых водорослях и моллюсках составили 4,9 и 6,7 года соответственно. Для рыб *Merlangius merlangus euxinus* подобной закономерности выявлено не было (рис.1).

В 1986 г. после аварийных выпадений из атмосферы распределение ^{90}Sr в донных отложениях севавтопольских бухт и водоемов региона г.Севастополя имело пятнистый характер. Так, концентрация ^{90}Sr , определенная в пробах донных отложений, отобранных в Сухой речке и Чернореченском водохранилище, в 1987 г. составляла 5,2 и 30,7 – 35,0 Бк·кг⁻¹ сухой массы соответственно [15]. В 1993 г. содержание ^{90}Sr в донных отложениях бух.Стрелецкой (табл.1, ст.2) изменялось от 0,6 до 1,4 Бк·кг⁻¹ сухой массы (табл.2, рис.2), что соответствует фоновой концентрации данного радионуклида в донных отложениях Черного моря. В это же время в донных отложениях бух.Северной (табл.1, ст.3) при общей концентрации ^{90}Sr , равной 1,1 – 1,2 Бк·кг⁻¹ сухой массы, было обнаружено пятно в центральной части бухты Северной с концентрацией ^{90}Sr , равной 36,6 Бк·кг⁻¹ сухой массы.

Материалы, представленные на рис.1, показывают, что данные, отложенные в логарифмических координатах по оси ординат, с достаточной степенью адекватности распределяются вдоль прямой линии (получены довольно высокие значения коэффициентов детерминации (рис.1, R^2)). В этом случае закономерности изменения концентрации C ^{90}Sr в компонентах экосистемы севавтопольских бухт могут быть описаны экспоненциальными функциями:

$$C = C_0 \cdot \exp(-pt), \quad (1)$$

где C – концентрация ^{90}Sr в момент времени t ; C_0 – концентрация ^{90}Sr в момент времени t_0 – начальный момент времени ($t_0 = 0$ на дату 26.04.1986 г.); p – параметр ($p = 0,693/\tau 05$). Используя эти функции, можно через параметр p оценить период снижения концентрации ^{90}Sr в компонентах экосистемы вдвое ($\tau 05$).

Т а б л и ц а 2. Концентрация ^{90}Sr в донных отложениях (0 – 5см) бух.Стрелецкой (1993 и 2002 гг.).

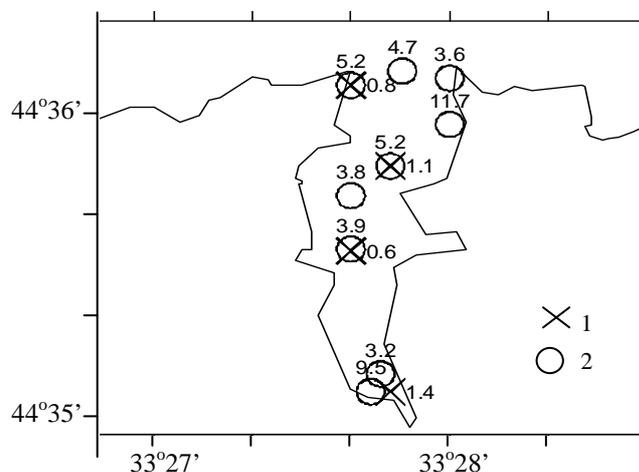
координаты и даты отбора проб				концентрация ^{90}Sr (Бк·кг ⁻¹ сухой массы)	
с.ш.	в.д.	с.ш.	в.д.		
11.06.1993 г.		11.06.2002 г.		11.06.1993 г.	11.06.2002 г.
–	–	44°36'70	33°28'29	–	4,7 ± 0,3
–	–	44°36'38	33°28'30	–	3,6 ± 0,2
44°36'34	33°28'14	44°36'34	33°28'15	0,8 ± 0,1	5,2 ± 0,3
–	–	44°36'20	33°28'28	–	11,7 ± 0,6
44°36'16	33°28'08	44°36'16	33°28'08	1,1 ± 0,1	5,2 ± 0,3
–	–	44°36'14	33°28'33	–	3,8 ± 0,3
44°35'90	33°28'12	44°35'91	33°28'12	0,6 ± 0,1	3,9 ± 0,3
–	–	44°35'70	33°28'15	–	3,2 ± 0,2
44°35'60	33°28'20	44°35'70	33°28'12	1,4 ± 0,1	9,5 ± 0,5

К 1999 г. среднее содержание ^{90}Sr в донных отложениях севастопольских бухт было в пределах $0,8 - 0,9 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ сухого веса, что соответствует дочернобыльским уровням [15] загрязнения донных отложений данным радионуклидом. Концентрации ^{90}Sr , измеренные нами в донных отложениях севастопольских бухт, в целом соответствуют уровням активности этого радионуклида в донных отложениях прибрежных районов Черного моря [15]. Не была отмечена зависимость концентрации ^{90}Sr от типа донных отложений в севастопольских бухтах (пелитовый ил, алевроитовый ил, ил песчаный, заиленный песок, карбонатный песок). Загрязнение донных отложений ^{90}Sr в некоторой степени зависело только от наличия и количества остатков раковин моллюсков в отобранных пробах.

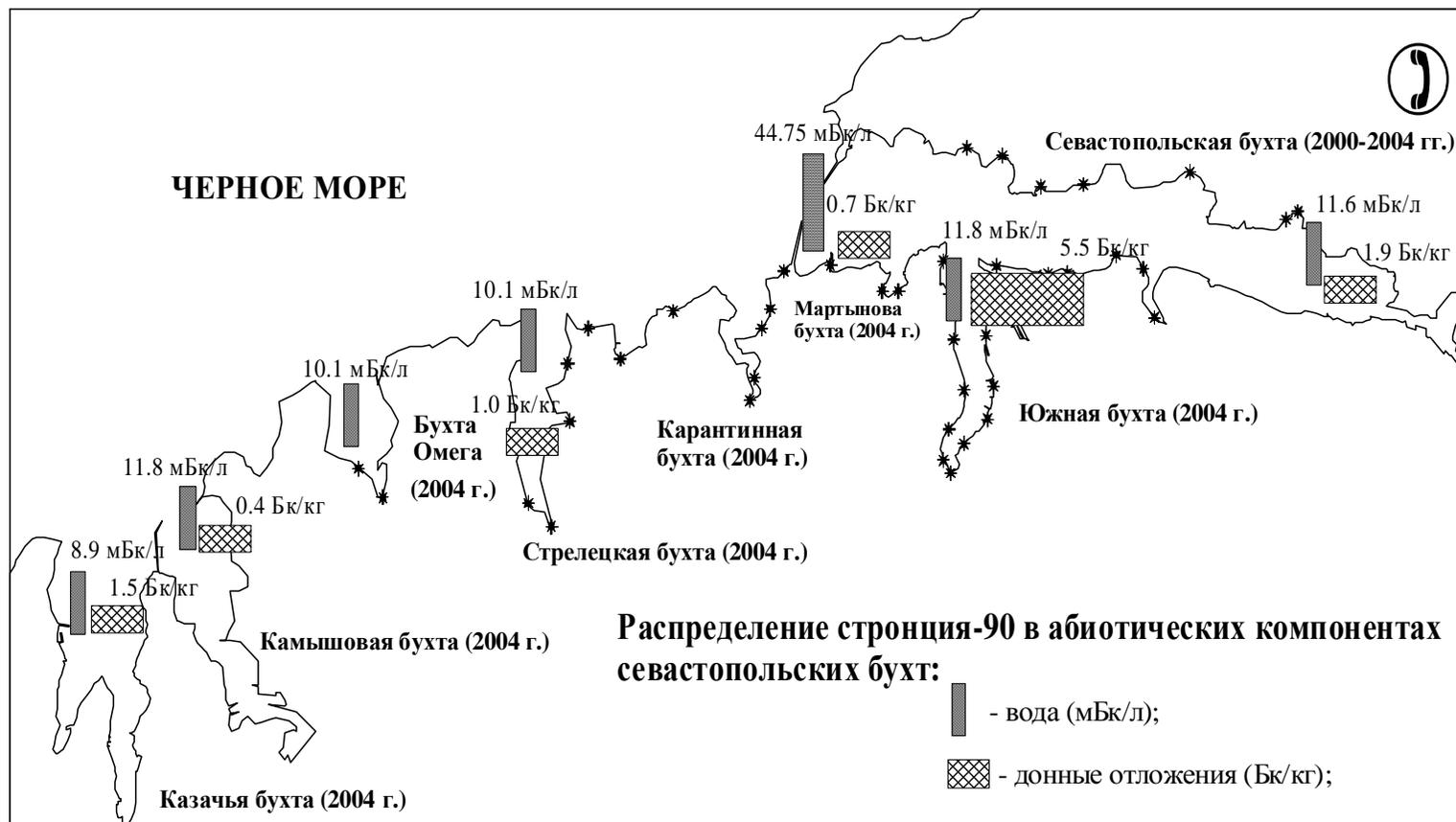
В 2000 г. было отмечено повышение концентрации ^{90}Sr в донных отложениях до $5,5 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ сухой массы на ст.2 (бух.Южная) (табл.1), в 5 – 7 раз по сравнению с результатами, полученными для этой станции в 1998 – 1999 гг. Результаты наблюдений на станциях, выполненных в бух.Стрелецкой в 2002 г., были того же порядка. В пробах донных отложений, отобранных в Стрелецкой бухте на одних и тех же станциях (табл.2, рис.2) концентрация ^{90}Sr увеличилась к 2002 г. в 5 – 7 раз по сравнению с таковыми в 1993 г.

Уровни концентраций ^{90}Sr , определенные в пробах воды и донных отложениях, отобранных в 2000 – 2004 г. в бухтах г.Севастополя, представлены на рис.3.

На основе результатов определения средних концентраций ^{90}Sr в компонентах экосистемы севастопольских бухт (рис.4) нами был оценен общий запас ^{90}Sr в изучаемых объектах за 1986 и 2004 гг. (рис.5; табл.3): во всем объеме морской воды внутреннего рейда Севастопольской бухты [16] ($0,2 \text{ км}^3$), в толще донных отложений этого района 0 – 5 см, а также в биомассе [17 – 20] исследуемых видов гидробионтов. Отметим, что при средней скорости осадконакопления в севастопольской бухте, равной $2,4 \text{ мм}\cdot\text{год}^{-1}$ [3], отбираемый нами слой донных отложений (0 – 5 см) охватывал период их формирования в пределах 21 года, тогда как период, прошедший с момента аварии на ЧАЭС (1986 – 2004 гг.), равен 18 годам. Поэтому следует ожидать, что измерения содержания ^{90}Sr в этом слое соответствовали его запасу, сформировавшемуся в донных отложениях севастопольских бухт после аварии на ЧАЭС.



Р и с . 2 . Содержание ^{90}Sr ($\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ сухой массы) в донных отложениях бух.Стрелецкой в 1993 г. (1) (результаты измерений указаны справа от маркера) и в 2002 г. (2) (результаты измерений указаны сверху от маркера).



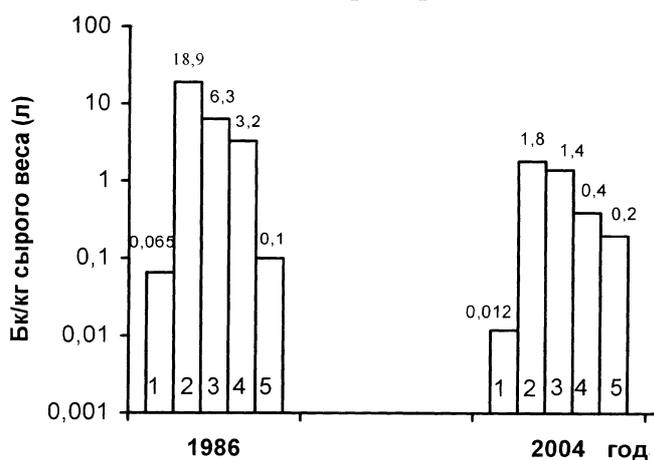
Р и с . 3 . Содержание ^{90}Sr в воде и донных отложениях севастопольских бухт (* – объекты антропогенного влияния на акваторию бухт).

Т а б л и ц а 3. Запас (З.) и средняя концентрация (С.К.) ^{90}Sr в компонентах экосистемы севастопольских бухт.

компоненты экосистемы	1986 г.		2004 г.		изменения
	С.К. ^{90}Sr , Бк/кг $^{-1}$ (л $^{-1}$)	З. ^{90}Sr , МБк	С.К. ^{90}Sr , Бк/кг $^{-1}$ (л $^{-1}$)	З. ^{90}Sr , МБк	
вода	$6,5 \times 10^{-2}$	13000,0	$1,2 \times 10^{-2}$	3789,9	- 9210,1
донные отложения	$8,9 \pm 2,7$	238,3	$1,8 \pm 0,3$	118,4	- 119,9
мидии	$6,3 \pm 0,9$	64,0	$1,4 \pm 0,2$	13,4	- 50,7
водоросли	$3,2 \pm 0,5$	59,0	$0,4 \pm 0,06$	8,5	- 50,4
рыбы	$0,1 \pm 0,02$	$9,3 \times 10^{-4}$	$0,2 \pm 0,03$	$2,3 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-3}$
итого:	-	13361,3	-	3930,2	- 9431,2

Наши расчеты показали, что в 1986 г. запас ^{90}Sr в экосистеме севастопольских бухт составил 13361,3 МБк (13,4 ГБк), в 2004 г. 3930,2 МБк (3,9 ГБк). Следовательно, через 18 лет после аварии на ЧАЭС произошло самоочищение изучаемой экосистемы севастопольских бухт на 9431,1 МБк (9,4 ГБк) ^{90}Sr (70 % от содержания ^{90}Sr в бухте в 1986 г.). При этом радиоактивный распад попавшего в экосистему севастопольских бухт ^{90}Sr за 18 лет составил 4756,64 МБк (4,8 ГБк, 35,8 % от запаса ^{90}Sr в экосистеме в 1986 г.). Поэтому за вычетом радиоактивного распада ^{90}Sr самоочищение водной среды севастопольских бухт от этого радионуклида за послечернобыльский период составило 34,2% от его исходного запаса в экосистеме.

Ежегодный вынос ^{90}Sr из экосистемы севастопольских бухт (скорость самоочищения) в среднем составил 259,7 МБк (0,3 ГБк) или 523,9 МБк (0,5 ГБк) с учетом всех физических и биогеохимических факторов, влияющих на уменьшение запаса ^{90}Sr в экосистеме. Следует отметить, что по нашим данным основными факторами, влияющими на самоочищение экосистемы севастопольской бухты от ^{90}Sr , являются:



Р и с . 4. Средняя концентрация ^{90}Sr в компонентах экосистемы севастопольских бухт: вода (Бк/л) (1); донные отложения (Бк/кг) (2), моллюски (Бк/кг) (3), водоросли (Бк/кг) (4), рыбы (Бк/кг) (5).

радиоактивный распад радионуклида и водообмен экосистемы севастопольских бухт с открытой акваторией моря.

Приняв сумму запасов ^{90}Sr во всех компонентах экосистемы севастопольских бухт за 100 %, определили долю вклада каждого компонента экосистемы в депонирование и перераспределение ^{90}Sr на всем временном промежутке исследования

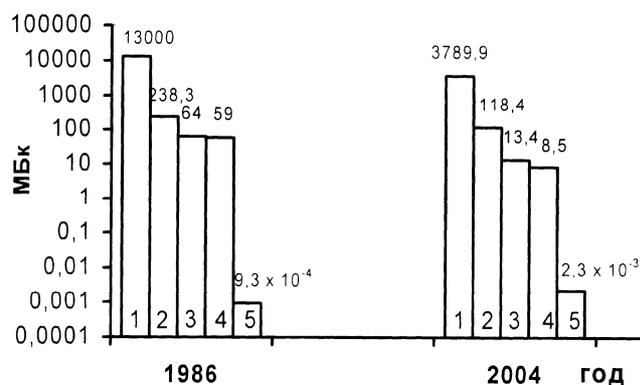


Рис. 5. Запас ⁹⁰Sr в компонентах экосистемы сева-стопольских бухт: вода (1), донные отложения (2), моллюски (3), водоросли (4), рыбы (5).

показали результаты проводимого нами многолетнего радиоэкологического мониторинга, донные отложения не являются конечным депо для ⁹⁰Sr. В течение всех 18 лет исследования наблюдался динамический процесс сорбции и десорбции ⁹⁰Sr донными отложениями сева-стопольских бухт. Отмечена следующая особенность: суммарное количество некоторого процентного уменьшения ⁹⁰Sr в воде, мидиях, цистозире к 2004 г. по сравнению с таковыми в 1986 г. (1,3 %) практически соответствует процентному увеличению запасов ⁹⁰Sr в донных отложениях сева-стопольских бухт в 2004 г.

Наши данные свидетельствуют, что основной запас ⁹⁰Sr (97,3 %) в 1986 г. находится во всем объеме водной массы экосистемы. С течением времени (с 1986 по 2004 гг.) и уменьшением концентрации исследуемого радионуклида в среде, его процентное распределение по компонентам экосистемы практически остается прежним (рис.6). В 2004 г. основной запас ⁹⁰Sr также находится в водной толще (96,4 %).

Полученные результаты подтверждают положение, что ⁹⁰Sr по классификации радионуклидов относительно их способности связываться с отдельными компонентами водных экосистем относится к эквитропам [21], т.е. принадлежит к элементам, которые не депонируются в донных отложениях, а перераспределяются в водной толще, других компонентах экосистемы.

(рис.6). В 2004 г. практически во всех компонентах экосистемы сева-стопольской бухты произошло уменьшение содержания ⁹⁰Sr (самоочищение компонентов от данного антропогенного радионуклида) по сравнению с таковым в 1986 г.

Некоторое увеличение ⁹⁰Sr отмечено для донных отложений (1,2 %) по сравнению с состоянием на 1986 г. Однако, как

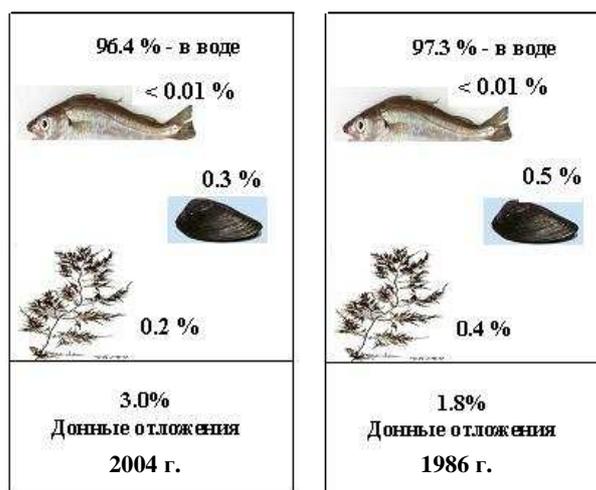


Рис. 6. Процентное распределение общего запаса ⁹⁰Sr в различных компонентах (вода, рыбы, моллюски, водоросли, донные отложения) экосистемы сева-стопольских бухт.

Заключение. В результате выполненной работы получено, что:

1. На акваторию севастопольских бухт в 1986 г. пришлось $4,5 \times 10^{-3}$ % от всего ^{90}Sr , выпавшего из атмосферы на акваторию Черного моря. С 1999 г. к настоящему времени (2004 г.) концентрации ^{90}Sr в воде, гидробионтах этого района моря снизились до уровней, предшествовавших аварии на ЧАЭС.

2. С 1987 г. отмечается экспоненциальное изменение содержания ^{90}Sr в воде бухт с периодом уменьшения концентрации вдвое за каждые 8,4 года; в бурых водорослях за 4,9 года; в моллюсках за 6,7 года.

3. Определена скорость самоочищения региона от ^{90}Sr , в среднем равная 0,5 ГБк в год. По нашим данным, основными факторами, влияющими на самоочищение экосистемы севастопольской бухты от ^{90}Sr , являются: радиоактивный распад радионуклида и водообмен экосистемы севастопольских бухт с открытой акваторией моря. За период 1986–2004 гг. общий запас ^{90}Sr в экосистеме севастопольских бухт уменьшился на 9,42 ГБк ^{90}Sr или на 70 % от его содержания в бухте в 1986 г. При этом на радиоактивный распад ^{90}Sr пришлось 50,4 % от этой величины.

4. В 2004 г. запас ^{90}Sr в исследуемой экосистеме оценивается в 3,9 ГБк, что составляет 10^{-3} % от общего запаса ^{90}Sr , который был определен в Черном море в 2000 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Livingston H., Clarke W., Honjo S. et al* Chernobyl fallout studies in the Black Sea and other oceans areas // EML.– 1986.– 460.– P.214-223.
2. *Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Кулебакина Л.Г., Стокозов Н.А.* Радиоактивное загрязнение вод, гидробионтов и донных отложений Черного моря после аварии на ЧАЭС через проливы Босфор в моря Средиземноморского бассейна // Междунар. конф. АСОПС: Загрязнение морей вокруг побережья СНГ (преимущественно, Арктики). Архангельск, 19-23 июня 1993 г.– Севастополь, 1993.– ч.2.– С.82-84.
3. *Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Освас И., Стокозов Н.А., Гулин С.Б., Мирзоева Н.Ю.* Радиоэкологический отклик Черного моря на Чернобыльскую ядерную аварию в отношении долгоживущих радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs // Морской экологический журнал.– 2002.– т.1, вып.1.– С.5-15.
4. *Ровинский Ф.Я., Морозова Г.К., Синицина Э.Д., Синицын Н.М.* Переход в воду и миграционная способность радионуклидов при мирном применении атомной энергии // Радиэкология водных организмов.– ч.2.– Рига: Зинатне, 1973.– С.20-29.
5. *Voitsekhovich O.V.* Project status report of the Ukrainian Hydrometeorological Research Institute // 3rd Co-ordination Meeting of IAEA's Technical Co-ordination Project RER/2/003 «Marine Environmental Assessment in the Black Sea Region», Vienna, Jan. 29-30, 1998.– Vienna: IAEA, 1998.
6. *Harvey B.K., Ibbett R.D., Lovett M.B., Williams K.J.* Analytical procedures for the determination of strontium radionuclides in environmental materials // Aquatic Env., Prot.: Analytical methods.– Lowestoft, 1989.– 33 p.
7. *Иванова Л.М.* Метод одновременного определения стронция-90, цезия-137 и церия-144 в морской воде // Радиохимия.– 1967.– т.9, №5.– С.622-633.
8. *Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Мирзоева Н.Ю., Кулебакина Л.Г., Артемов Ю.Г.* Тенденции изменения концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде и гидробионтах севастопольских бухт после аварии на ЧАЭС // Экология моря.– 2000.– 50.– С.83-88.

9. *Project Status Report. Regional Technical Co-operation Project RER/2/003 «Marine Environmental Assessment in the Black Sea» / Ukrainian Hydrometeorological Service, Ukrainian Hydrometeorological Research Institute, Marine Branch: prep. by project co-ordinator from UHMI Dr. O.V.Voitsekhovich.– Vienna: IAEA, 2000.– 44 p.*
10. *Поликарпов Г.Г., Тимощук В.И., Кулебакина Л.Г. Концентрация ^{90}Sr в водной среде нижнего Днепра в направлении Черного моря // Докл. АН УССР. Сер.Б.– 1988.– 7.– С.74-78.*
11. *Polikarpov G.G., Kulebakina L.G., Timoshchuk V.I., Stokozov N.A. ^{90}Sr and ^{137}Cs in surface waters of the Dnieper River, the Black Sea and the Aegean Sea in 1987 and 1988 // J. Environ. Radioactivity.– 1991.– 13, №1.– P.25-38.*
12. *Polikarpov G.G., Livingston H.D., Kulebakina L.G. et al Inflow of Chernobyl ^{90}Sr to the Black Sea from Dnieper River // J. Estuarine, Coastal and Shelf Science.– 1992.– 34.– P.315-320.*
13. *Кулебакина Л.Г. Изучение миграции ^{90}Sr и ^{137}Cs в экосистемах шельфа Черного моря и нижнего Днепра после Чернобыльской аварии // Межд. семинар: Радиоэкология: успехи и перспективы. Севастополь, 3-7 октября 1994 г.– Севастополь, 1996.– С.127-141.*
14. *Агре А.А., Корогодин В.И. О распределении радиоактивных загрязнений в непроточном водоеме // Мед. радиология.– 1960.– 1.– С.67-73.*
15. *Молисмология Черного моря / АН Украины. Ин-т биологии южных морей. Под ред. Г.Г.Поликарпова.– Киев: Наукова думка, 1992.– 301 с.*
16. *Морочковский В.А., Ковальчук Ю.Л. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты // Ихтиофауна черноморских бухт в условиях антропогенного воздействия.– Киев: Наукова думка, 1993.– С.17-24.*
17. *Болтачев А.Р., Лазоренко Г.Е. Оценка уловов промысловых рыб Азово-Черноморского бассейна для расчетов коллективных эффективных доз внутреннего облучения населения от природного радионуклида ^{210}Po // Чтения памяти Н.В.Тимофеева-Ресовского.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000.– С.126-130.*
18. *Мионов О.Г., Кирюхина Л.Н., Алемов С.В. Экологическая характеристика бухты Казачьей (Черное море) // Экология моря.– 2002.– 61.– С.85-89.*
19. *Михайлова Т.В. Некоторые данные по макрозообентосу филлофорного поля Зернова (Черное море) // Экология моря.– 2001. 59.– С.26-30.*
20. *Ковардаков С.А., Ковригина Н.П., Изместьева М.А. Донный фитоценоз в акватории от мыса Балаклавского до мыса Айя и его вклад в процессы самоочищения // Системы контроля окружающей среды. Средства и мониторинг.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2004.– С.251-258.*
21. *Тимофеева-Ресовская Е.А. Распределение радиоизотопов по основным компонентам пресноводных водоемов // Тр. Ин-та биологии Урал. фил. АН СССР.– 1963.– 30.– 77 с.*

Материал поступил в редакцию 21.01.2005 г.
После доработки 27.04.2005 г.