

Мирзоева Н. Ю., Гулин С. Б., Архипова С. И.,
Коркишко Н. Ф., Мигаль Л. В., Мосейченко И. Н., Сидоров И. Г.

ПОТОКИ МИГРАЦИИ И ДЕПОНИРОВАНИЯ ПОСЛЕАВАРИЙНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ^{90}Sr И ^{137}Cs В РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНАХ ЧЁРНОГО МОРЯ (ЭЛЕМЕНТЫ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ)

Изучены тенденции загрязнения вод, гидробионтов и донных отложений поставарийными ^{90}Sr и ^{137}Cs в северо-западной части Чёрного моря, Каркинитском заливе, Керченском проливе, на шельфе Крыма и в акватории севастопольских бухт. Впервые определены потоки ^{137}Cs и ^{90}Sr в толщу донных отложений исследуемых районов моря. Выявлены критические зоны и биогеохимические механизмы их формирования в различных районах Чёрного моря относительно поставарийных ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Ключевые слова: Чёрное море, цезий-137, стронций-90, биогеохимические закономерности, потоки загрязнения, критические зоны.

Вивчені тенденції забруднення вод, гідробіонтів і донних відкладень поставарійними ^{90}Sr і ^{137}Cs у північно-західній частині Чорного моря, Каркинітський затоці, Керченській протоці, на шельфі Криму й в акваторії севастопольських бухт. Уперше визначені потоки ^{137}Cs і ^{90}Sr у товщу донних відкладень досліджуваних районів моря. Виявлено критичні зони і біогеохімічні механізми їхнього формування в різних районах Чорного моря відносно поставарійних ^{137}Cs і ^{90}Sr .

Ключові слова: Чорне море, цезій-137, стронцій-90, біогеохімічні закономірності, потоки забруднення, критичні зони.

The tendencies of the pollution of water, hydrobionts and bottom sediments by after accidental ^{90}Sr and ^{137}Cs in the following parts of the Black Sea, such as: the northwestern part, the Gulf of Karkinitkiy, Kerch Strait, offshore of the Crimea and in Sevastopol bays were investigated. For the first time the streams accumulation of ^{137}Cs and ^{90}Sr to the bottom sediments of the investigated areas were determined. Critical zones and biogeochemical mechanisms of their forming in various parts of the Black Sea concerning to ^{137}Cs and ^{90}Sr have been identified.

Key words: the Black Sea, caesium-137, strontium-90, biogeochemical patterns, streams of pollution, critical zones.

Постановка проблемы. Авария на ЧАЭС, произошедшая 26 апреля 1986 года, явилась наиболее серьезной аварией в истории эксплуатации ядерных реакторов. Данная авария послужила источником непланового глобального выброса в атмосферу радиоактивных веществ. Акватория Черного моря в первые месяцы после аварии на ЧАЭС подверглась острому радиоактивному загрязнению. В мае 1986 г. на поверхность моря выпало 1,7-2,4 ПБк ^{137}Cs и 0,3 ПБк ^{90}Sr [1; 2]. Вторичное послеаварийное радиоактивное загрязнение водной экосистемы Черного моря определялось стоком рек, преимущественно Днепра, хроническим радиоактивным загрязнением, в основном за счет водопользования из Северо-Крымского канала. Поступление ^{90}Sr и ^{137}Cs со стоком рек Днепр и Дунай за 1986-2000 гг. составило 160 ± 28 ТБк и 23 ± 5 ТБк [2; 3], соответственно. Особенностью чернобыльской аварии

было то, что радиоактивное загрязнение окружающей среды произошло на масштабе времени значительно меньшем, чем характерное время протекания биогеохимических процессов. Поэтому поставарийные ^{90}Sr и ^{137}Cs в качестве радиотрассеров могут характеризовать интенсивность гидрологических и биогеохимических процессов, происходящих в водных экосистемах. Практическая значимость применения исследуемых радионуклидов в качестве радиотрассеров заключается в том, что на основе хронологической датировки донных отложений Чёрного моря по ^{137}Cs и ^{90}Sr определялись скорости седиментации и осадко-накопления [2; 4-7]. Это позволило определить потоки поступления и скорость депонирования поставарийных ^{137}Cs и ^{90}Sr в экологическое депо – донные отложения водоёма.

Актуальность и научная новизна проводимых исследований состоит в том, что на основе результатов

радиоэкологического мониторингового исследования ОРХБ ИнБЮМ в период 1986-2012 гг. впервые получены оценки потоков ^{137}Cs и ^{90}Sr в черноморских экосистемах, изучены условия формирования условно-критических зон в Чёрном море по данным радионуклидам.

Цель исследований. Изучить тенденции загрязнения вод, гидробионтов и донных отложений поставарийными радионуклидами ^{90}Sr и ^{137}Cs в северо-западной части Чёрного моря, Каркинитском заливе, Керченском проливе, на шельфе Крыма и в акватории севастопольских бухт; определить потоки ^{137}Cs и ^{90}Sr в толщу донных отложений исследуемых районов Чёрного моря; выявить критические зоны и биогеохимические механизмы их формирования в различных районах Чёрного моря относительно поставарийных ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи. Определение концентраций ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде, гидробионтах и донных отложениях Чёрного моря; геохронология донных осадков по профилям ^{90}Sr и ^{137}Cs ; оценка скорости седиментации и скорости осадконакопления с использованием ^{90}Sr и ^{137}Cs в качестве радиотрассеров; расчет потоков депонирования поставарийных ^{90}Sr и ^{137}Cs в толщу донных отложений моря.

Материал и методы исследований. Материалом исследований служили вода, донные отложения, гидробионты, отобранные в Украинской акватории Чёрного моря в течение 1986-2012 гг. Основными биологическими объектами радиоэкологического мониторинга нами были выбраны бурые водоросли

Cystoseira crinita (Desf.) Bory, моллюски *Mytilus galloprovincialis* Lam., рыбы *Merlangius merlangus euxinus* (Nordmann). Измерения выполнялись по методикам и на оборудовании, прошедшем интеркалибрацию под эгидой МАГАТЭ (Вена, Австрия) и Рисо Национальной Лаборатории (Рисо, Дания). Определение ^{90}Sr и ^{137}Cs в морской воде проводили радиохимическим методом [8-10]. Гидробионты обрабатывались по методикам [8; 10]. Бета-активность ^{90}Sr измерялась по ^{90}Y , по черенковскому излучению на низкофоновом жидкостно-сцинтилляционном счетчике (LSC) LKB «Quantulus» Wallac-1220, нижний предел определяемой активности (LLD) составлял 0,01-0,04 Бк·кг⁻¹ (Бк·м⁻³) пробы, относительная погрешность не превышала 20 %. Гамма-спектрометрические измерения ^{137}Cs проводили на гамма-спектрометрическом комплексе с датчиком NaI(Tl) со свинцовой защитой и усилителями ORTEC 855 Dual Spec AMP, Canberra AMP 2026, а также на торцевом сверхчистом германиевом детекторе Canberra-Packard XtRa GX2019 с относительной эффективностью около 23 %. Анализ полученных гамма-спектров проводили с помощью анализатора MCA S100, System 100 [9; 10].

Обсуждение результатов. В таблице 1 представлены данные по интегральному содержанию ^{137}Cs в донных отложениях, диапазону концентраций ^{137}Cs и ^{90}Sr в поверхностных слоях донных отложений, скоростям осадконакопления, седиментационным потокам массы и потокам удаления ^{137}Cs и ^{90}Sr из водной толщи в различных районах Черного моря в послеаварийный период (табл.1).

Таблица 1

Интегральное содержание ^{137}Cs в донных отложениях, диапазон концентраций ^{137}Cs и ^{90}Sr в поверхностных слоях донных отложений, скорости осадконакопления, седиментационные потоки массы и седиментационные потоки удаления ^{137}Cs и ^{90}Sr из водной толщи в различных районах Черного моря

Район	Коорд. с.ш./в.д.	D, м	Дата отбора	^{137}Cs , Бк м-2	^{137}Cs , Бк кг-1	^{90}Sr , Бк кг-1	Скорость, мм год-1	Поток массы, г м-2 год-1	Поток радионуклида, Бк м-2 год-1	
									^{137}Cs	^{90}Sr
Взморье Дуная	45°12.4' 29°51.0'	26	27.06.94	8827	200-250	3-21	11,5	3994	800-1000	48
Днепроовско-Бугский лиман	46°33.0' 31°25.0'	13	17.05.97	4456	100-150	14-148	9,2	3670	370-550	298
Континентальный склон	44°39.4' 31°46.2'	607	25.06.94	195	20-80	12-140	2,2	138	2.8-11.0	8
Глубоководная зона	43°26.0' 32°08.8'	1983	15.06.93	180	55-120	0,3	0,4	70	3.9-8.4	0,02
Устье р. Чорох	41°39.7' 41°33.2'	70	01.10.00	10978	30-50	0,5	5,3	3071	90-150	1,5
Севастопольская бухта	44°37.1' 33°32.1'	15	26.06.98	3450	70-80	0,8-23	2,4	607	40-50	7

Примечания: D – глубина в месте отбора проб.

Для района дельты Дуная оценка седиментационного потока ^{137}Cs составила 800-1000, а для ^{90}Sr – 48 Бк·м²·год⁻¹ (табл. 1). Однако, учитывая обнаруженные в этом районе значительно большие интегральные содержания ^{137}Cs [2] – 20-40 ГБк км⁻² и скорость осадконакопления – 11,5 мм год⁻¹ [5; 6], верхним пределом оценки можно полагать 1540-2350 Бк м² год⁻¹. Для района Днепроовско-Бугского лимана оценка седиментационного потока ^{137}Cs составила 370-550 Бк м² год⁻¹, для ^{90}Sr – 298 Бк·м²·год⁻¹. Аналогично району дельты Дуная, учитывая обнаруженные в этом районе значительно большие интегральные содержания ^{137}Cs [2, 5, 6] – 12-27 ГБк км⁻² и скорость осадконакопления – 9,2 мм год⁻¹ [5, 6], верхним пределом оценки можно полагать 1130-

1630 Бк м² год⁻¹. Следует также отметить, что приведенные оценки отражают пространственную вариабельность седиментационного потока ^{137}Cs в районах дельты Дуная и Днепро-Бугского лимана. Для устья реки Чорох [11] и Севастопольской бухты седиментационные потоки удаления ^{137}Cs и ^{90}Sr были существенно ниже таковых в районе дельты Дуная и Днепроовско-Бугского лимана и составляли 90-150 и 40-50 Бк м² год⁻¹ для ^{137}Cs , 1,5 и 7 Бк·м²·год⁻¹, соответственно для ^{90}Sr .

Полученные результаты (табл. 1) позволили заключить следующее. Районирование потоков ^{90}Sr в донные отложения Черного моря таково: Днепро-Бугский лиман (298 Бк·м²·год⁻¹) > Взморье Дуная (48 Бк·м²·год⁻¹) > Континентальный склон (8 Бк·м²·год⁻¹) ≈

Севастопольская бухта ($7 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$) > устье р.Чорох ($1,5 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$) > Глубоководная зона ($0,02 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$). Седиментационный фактор в миг-рации ^{137}Cs , также как и ^{90}Sr , в Черном море после аварии на ЧАЭС был значим только в локальных устьевых областях рек. В черноморском глубоководном бассейне седиментационные потоки удаления ^{137}Cs из водной толщи были приблизительно на два порядка меньше таковых в устьевых областях Дуная и Днепра. Устьевая область реки Чорох и Севастопольская бухта в отношении величины седиментационных потоков занимали промежуточное положение.

На основе сделанных нами оценок средних скоростей седиментации взвешенного вещества и осадконакопления [7] впервые были определены потоки ^{90}Sr в

донные отложения в районах активных газовойделений из дна Чёрного моря (рис. 1). Следует отметить, что потоки поставарийного ^{90}Sr были рассчитаны для поверхностного (0-5 см слоя), так как обнаруженные пики повышенных концентраций ^{90}Sr в более глубоких слоях донных отложений исследуемых районов [7], соответствующие периодам активного поступления радионуклидов в водную экосистему, обусловливают в этот период и более высокие потоки депонирования ^{90}Sr в донные осадки. Показано (рис. 1, табл. 1), что величины потоков поступления ^{90}Sr в донные отложения в районах активных газовойделений из дна Чёрного (глубоководные районы) имеют одинаковый порядок с потоками, рассчитанными ранее [2; 4; 5], для взморья Дуная, континентального склона, Севастопольской бухты.

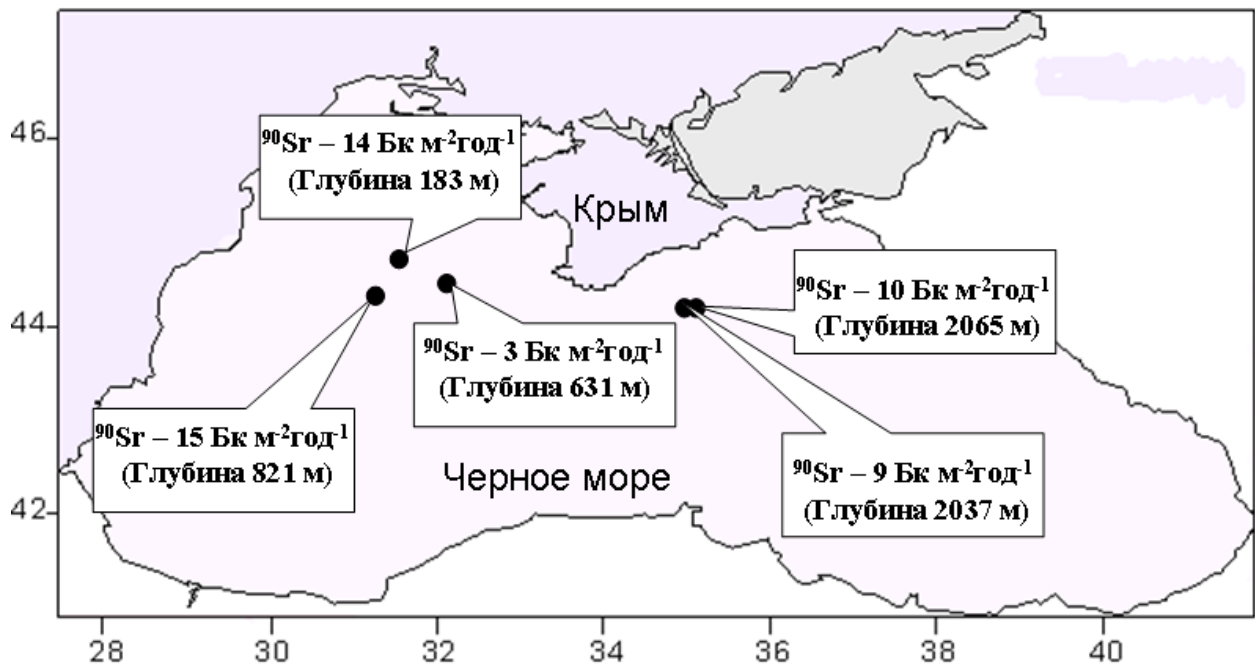


Рис. 1. Схема распределения потоков ($\text{Бк} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$) поставарийного ^{90}Sr в районах с активным газовойделением из дна Чёрного моря

В период исследования 2008-2012 гг. были определены потоки поставарийных радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs в донные отложения бухт района г. Севастополя, различных участков Балаклавской бухты, вдоль побережья Крыма (рис. 2; 3; 4).

Известно [2], что придунайский район является одной из условно-критических зон Чёрного моря, являясь источником хронического вторичного загрязнения поставарийными радионуклидами, поступающими в морскую экосистему с водосборного бассейна. Поэтому, наряду с уже известными условно-критическими зонами Чёрного моря (Днепровско-Бугский лиман, взморье Дуная) [2], исследуемые районы моря с активным газовойделением из дна также можно отнести к условно-

критическим зонам по накоплению ^{90}Sr в донных отложениях этих районов.

В результате наших исследований 2008-2012 гг. с использованием ^{90}Sr в качестве радиотрассера были определены скорости осадконакопления в черноморских районах вдоль побережья Крыма (возле Карадага, мыса Херсонес), а также на различных станциях Балаклавской бухты (табл. 2). Сравнительный анализ (табл. 2) потоков поступления ^{90}Sr в донные отложения Чёрного моря вдоль Крымского побережья и в Балаклавской бухте позволил определить, что величина потока радионуклида не зависит от глубины залегания донных осадков (табл. 2), а зависит, прежде всего, от: 1) концентрации ^{90}Sr в поверхностном слое донных отложений Чёрного моря; 2) скорости осадконакопления.

Таблица 2

Данные по скоростям осадконакопления, седиментационным потокам массы и седиментационным потокам удаления ^{90}Sr из водной толщи в различных районах Чёрного моря

Район	Координаты	Глубина, м	Седиментация, мм·год ⁻¹	Осадконакопление, г·м ⁻² ·год ⁻¹	^{90}Sr , Бк м ⁻² ·год ⁻¹
Балаклавская бухта, Ст. 1	44°30'087 С.Ш. 33°35'848 В.Д.	7,7	5,2	2218,9	6,3
- // -, Ст. 2	44°29'923 С.Ш. 33°35'964 В.Д.	12	5,5	3519,5	6,7
- // -, Ст. 3	44°29'748 С.Ш. 33°35'711 В.Д.	27	5,3	2131,2	4,3
Карадаг (Ст.1)	44°54'68 С.Ш. 35°24'69 В.Д.	45	5,5	2245,0	4,3
Карадаг (Ст. 4)	44°41'555 С.Ш. 35°33'088 В.Д.	600	4,1	1133,3	6,6
Мыс Херсонес (Ст. 13)	44°25'150 С.Ш. 33°06'196 В.Д.	290	5,6	2512,7	4,8

Так на станции 4 возле Карадага глубина залегания донных отложений составляла 600 м, а скорость осадконакопления была наименьшей по сравнению с другими исследуемыми станциями (табл. 2). При этом величина потока поступления ^{90}Sr в донные отложения в этом районе Чёрного моря была такая же, как и на малых глубинах Балаклавской бухты, что обеспечивалось значительной концентрацией радионуклида в поверхностном слое донных осадков возле Карадага.

В период 2008-2012 гг. было определено (рис. 2), что к условно-критическим зонам по скорости накопления ^{137}Cs в донные отложения можно отнести следующие районы большой Севастопольской бухты: район Инкермана, Голландии, Константиновского равелина, а по накоплению ^{90}Sr – район Инкермана. Было получено (рис. 2), что поток ^{137}Cs в донные

отложения бухт района г. Севастополь на 1-2 порядка превышали таковой поток для ^{90}Sr , что зависело, прежде всего, от различий в уровнях концентраций этих радионуклидов в донных отложениях. Согласно анализу полученных данных (рис. 2) по мере уменьшения величины потока ^{137}Cs в донные отложения и в зависимости от скоростей осадконакопления районы севастопольских бухт можно расположить в следующей ряд: Инкерман (осадконакопление – 7094 г·м⁻²·год⁻¹) > Константиновский равелин (3253 г·м⁻²·год⁻¹) ≥ Голландия (1727 г·м⁻²·год⁻¹) ≥ Павловский мыс (607 г·м⁻²·год⁻¹) ≈ Стрелецкая бухта (888 г·м⁻²·год⁻¹) ≈ внешний рейд (664 г·м⁻²·год⁻¹). Величина потоков в этих районах зависела от величины скоростей седиментационных процессов, происходящих в этих районах севастопольских бухт.

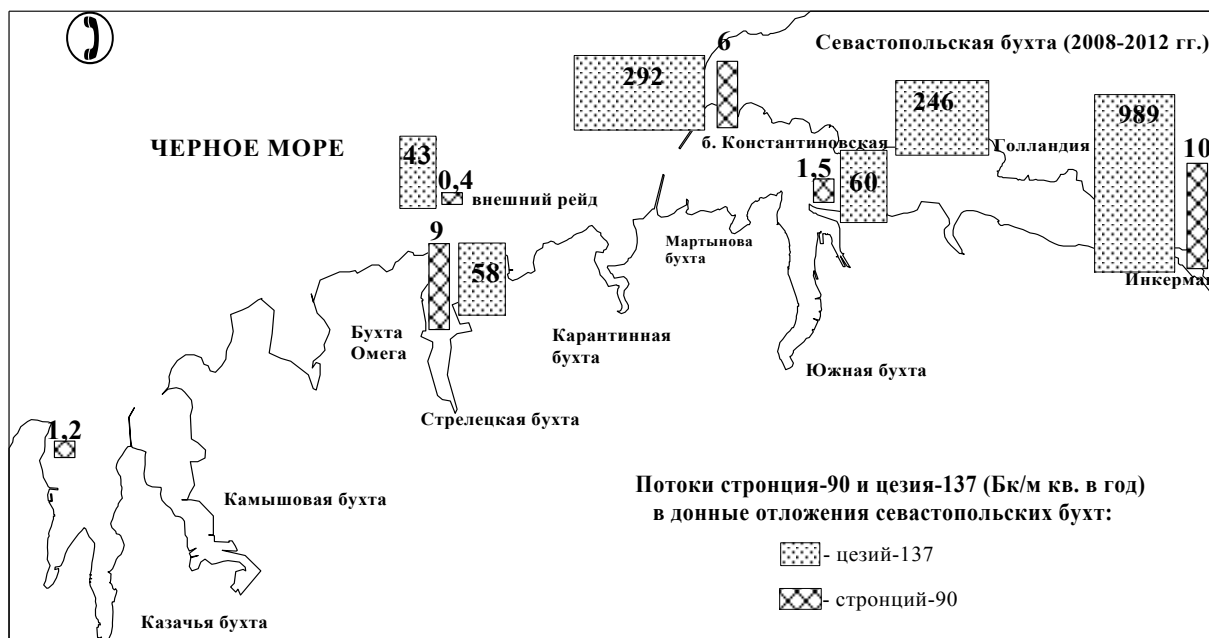


Рис. 2. Схема распределения потоков (Бк·м⁻²·год⁻¹) поставарийных ^{90}Sr и ^{137}Cs в различных районах Чёрного моря бухт г. Севастополь

Отмечено, что через 12 лет (в 1998 г. и 2010 г.) порядок величин потоков поставарийных ^{90}Sr и ^{137}Cs в районе Южной бухты (Павловский мысок) не изменился (табл. 1 и рис. 2), что свидетельствует о периодическом вторичном загрязнении данными радионуклидами акватории севастопольских бухт.

С целью определения скорости самоочищения водной толщи региона севастопольских бухт от ^{90}Sr и ^{137}Cs был рассчитан запас этих радионуклидов в воде, гидробионтах и донных отложениях севастопольских бухт. В 2009-2011 гг. запас ^{90}Sr и ^{137}Cs составил: в воде – 2243,6 МБк и 3890,0 ГБк, в поверхностном

слое донных отложений – 17,7 МБк и 1,1 ГБк, в мидиях – 27,4 МБк и 8,9 МБк, в водорослях – 13,8 МБк и 30,3 МБк, в рыбах – 2,8 кБк и 15,8 кБк, соответственно (рис. 3, рис. 4). В период 1986-2011 гг. общий запас ^{90}Sr в экосистеме сева­стопольских бухт уменьшился на 11,1 ГБк или на 83 % от его содержания в бухтах в 1986 г. (рис. 3). Для ^{137}Cs в период 1986-2011 гг. эти оценки составили 145,3 ГБк и 96.6 %. При этом радиоактивный распад ^{90}Sr составил 51,0 %, а ^{137}Cs – 49,8 % от этой величины. Уменьшение

содержания поставарийных радионуклидов ^{90}Sr (на 49 %) и ^{137}Cs (на 50,2542 %) в компонентах сева­стопольских бухт по сравнению с 1986 г. произошло за счет влияния биогеохимических процессов (рис. 3, рис.4). При этом скорости самоочищения воды экосистемы сева­стопольских бухт от поставарийных ^{90}Sr и ^{137}Cs составляют: для ^{90}Sr – $0,50 \pm 0,08$ ГБк в год, для ^{137}Cs – 5,74 ГБк в год. Эти оценки могут служить для целей прогнозирования процессов самоочищения бухты Севастополя от радиоактивного загрязнения.

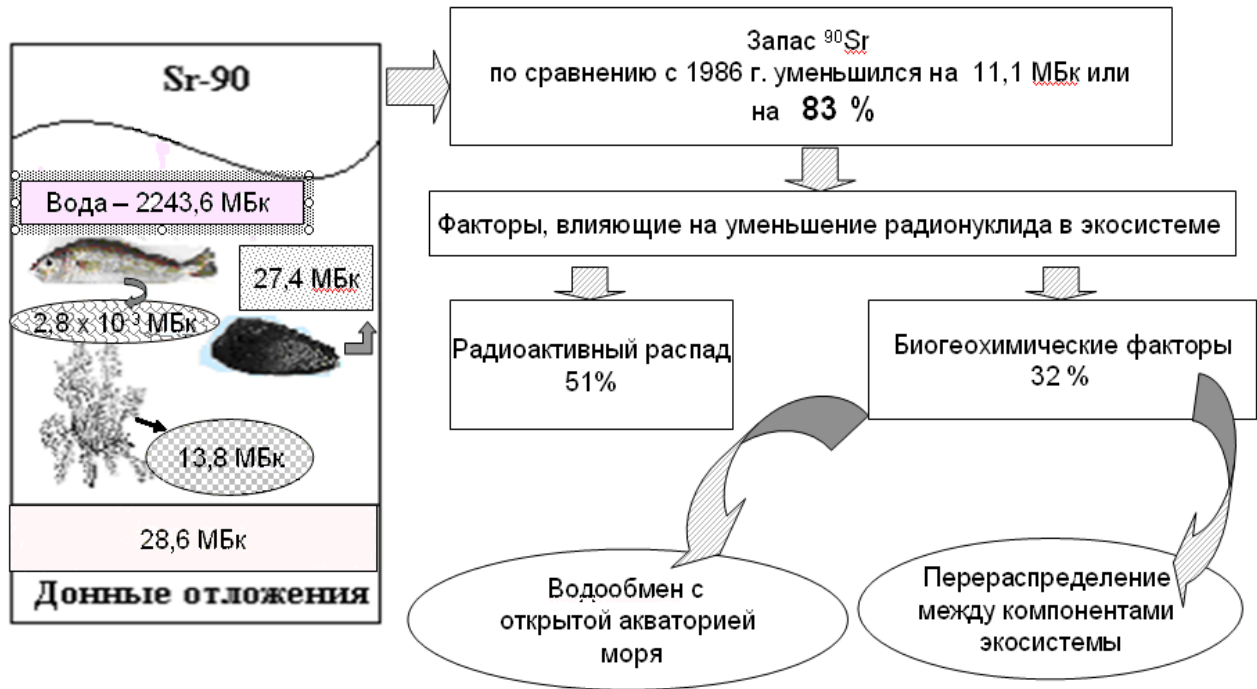


Рис. 3. Запас ^{90}Sr в компонентах экосистемы сева­стопольских бухт и факторы, влияющие на уменьшение радионуклида в экосистеме (данные 2009-2011 гг.)

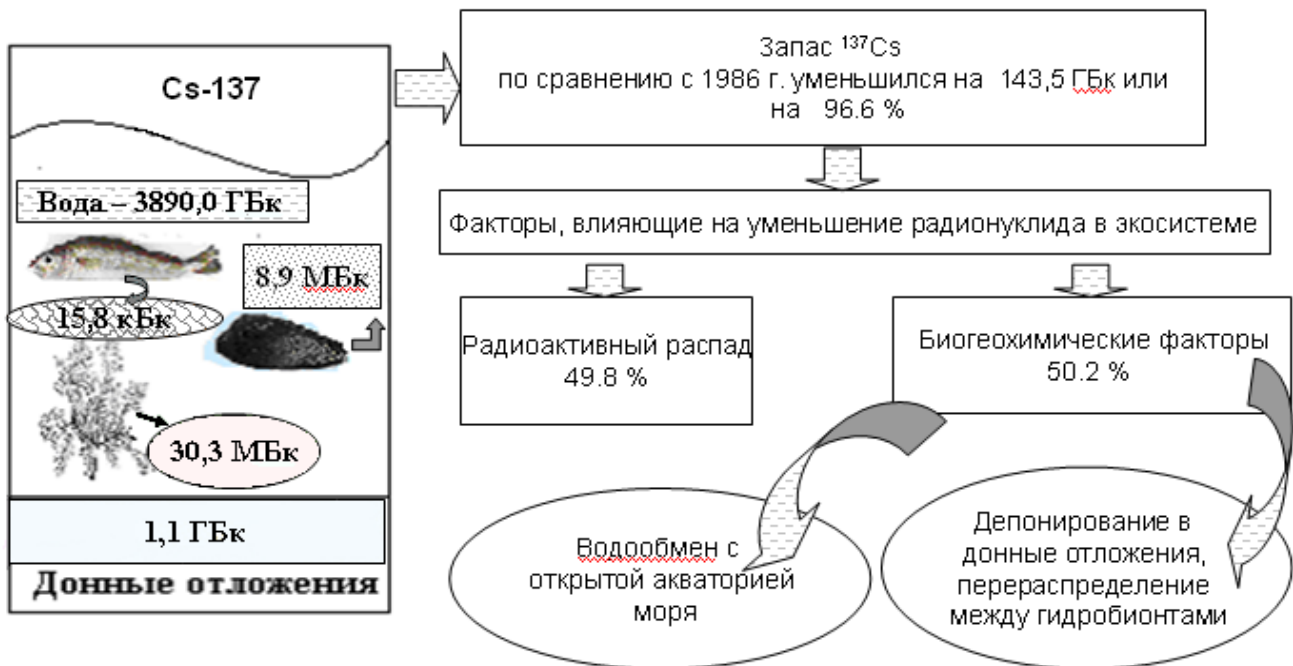


Рис. 4. Запас ^{137}Cs в компонентах экосистемы сева­стопольских бухт и факторы, влияющие на уменьшение радионуклида в экосистеме (данные 2009-2011 гг.)

Определено (рис. 3, 4), что основными факторами, влияющими на самоочищение экосистемы сева­стопольской бухты от ^{90}Sr , являются: радиоактивный распад и водообмен с открытой акваторией моря, для ^{137}Cs , наряду с указанными факторами, немаловажное значение играет фактор депонирования радионуклида в донные отложения экосистемы.

Выводы. В результате наших исследований было определено, что величина потока поставарийных радионуклидов не зависит от глубины залегания донных осадков, а зависит от концентрации радионуклида в поверхностном слое донных отложений Чёрного моря (уровня концентрации загрязнителя в среде) и скорости осадконакопления.

Оценены скорости осадконакопления и потоки поступления ^{90}Sr в донные отложения Балаклавской бухты, в глубоководном районе Чёрного моря возле Карадага и мыса Херсонес.

Получено, что наряду с уже известными условно-критическими зонами моря (Днепровско-Бугский лиман, взморье Дуная, район сева­стопольских бухт), исследованные нами районы Чёрного моря с активным газовыделением из дна также можно считать условно-критическими зонами по накоплению ^{90}Sr в донных отложениях.

Рассчитаны скорости самоочищения воды экосистемы сева­стопольских бухт от поставарийных ^{90}Sr и ^{137}Cs , которые равны: для ^{90}Sr – $0,5 \pm 0,08$ ГБк в год, для ^{137}Cs – $5,74$ ГБк в год. При этом на радиоактивный распад пришлось $51,0\%$ ^{90}Sr и $49,8\%$ ^{137}Cs от общего содержания радионуклидов в компонентах экосистемы, которое было определено в 1986 г.

Выявлены основные факторы, обеспечивающие самоочищение экосистемы сева­стопольской бухты: для ^{90}Sr таковыми являются радиоактивный распад и водообмен с открытой акваторией моря, для ^{137}Cs , наряду с указанными факторами, важным фактором является процесс депонирования радионуклида в донные отложения морской экосистемы.

Полученные оценки могут служить для целей прогнозирования процессов самоочищения различных районов Черного моря от радиоактивного и химического загрязнения, для разработки биогеохимических критериев нормирования потоков радиоактивных и химических загрязнений в черноморских экосистемах; обоснований рекомендаций по нормированию допустимых уровней антропогенного влияния при реализации концепции устойчивого развития причерноморских регионов Украины.

ЛИТЕРАТУРА

- Livingston H. Chernobyl fallout studies in the Black Sea and other oceans areas / H. Livingston, W. Clarke, S. Honjo [et. al.] – EML. – 1986. – V. 460. – P. 214–223.
- Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Г. Г. Поликарпов, Егоров В. Н., Гулин С. Б., Стокозов Н. А., Лазоренко Г. Е., Мирзоева Н. Ю., Терещенко Н. Н., Цыпугина 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.
- Egorov V. N. ^{90}Sr and ^{137}Cs in the Black Sea after the Chernobyl NPP accident: inventories, balance and tracer applications / V. N. Egorov, P. P. Povinec, G. G. Polikarpov, N. A. Stokozov, S. B. Gulin, L. G. Kulebakina, I. Osvath. – J. of Environmental Radioactivity. – 1999. – V. 43. – P. 137–155.
- Gulin S. B. Chronological study of ^{137}Cs input to the Black Sea deep and shelf sediments / S. B. Gulin, A. Aarkrog, G. G. Polikarpov, S. P. Nielsen, V. N. Egorov. – Radioprotection. – 1997. – V. 32 (C2). – P. 257–262.
- Гулин С. Б., Геохронологическое исследование поступления ^{137}Cs в донные отложения северо-западного шельфа, континентального склона и глубоководной части Черного моря / С. Б. Гулин, Г. Г. Поликарпов, А. Ааркрюг, В. Н. Егоров, С. Нильсен, Н. А. Стокозов. – Доп. Акад. Наук України. – 1997. – № 7. – С. 133–139.
- Gulin S. B., Radioactive contamination of the north-western Black Sea sediments / S. B. Gulin, G. G. Polikarpov, V. N. Egorov, J.-M. Martin, A. A. Korotkov, N. A. Stokozov. – Estuarine, Coastal and Shelf Science. – 2002. – V. 54, № 3. – P. 541–549.
- Мирзоева Н. Ю. Применение методов хронологической датировки донных отложений по ^{90}Sr для оценки скорости седиментации и осадконакопления в районах активных газовыделений в экономической зоне Украины Черного моря / Н. Ю. Мирзоева // Наукові праці: науково-методичний журнал. – Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2012. – Вип. 175, Т. 187. Техногенна безпека. – С. 42–48.
- Harvey B. K. Analytical procedures for the determination of strontium radionuclides in environmental materials / B. K. Harvey, R. D. Ibbett, M. B. K. J. Lovett and Williams // Aquatic Env., Prot. : Analytical Methods, Lowestoft, 1989 – 33 p.
- Buesseler K. O. Determination of fission – products and actinides in the Black Sea following the Chernobyl accident / K. O. Buesseler, S. A. Casso, M. C. Hartman, H. D. Livingston // J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 1990. – Vol. 138, № 1. – P. 33–47.
- Методические рекомендации по определению радиоактивного загрязнения водных объектов / [под ред. Вакуловского С. М.]. – М. : Гидрометеоздат, 1986. – 70 с.
- Gulin S. B. Geochronological reconstruction of ^{137}Cs transport from the Coruh river to the SE Black Sea: comparative assessment of radionuclide retention in the mountainous catchment area / S. B. Gulin, G. G. Polikarpov, J.-M. Martin // Continental Shelf Research. – 2003. – Vol. 23, № 17–19. – P. 1811–1819.

Рецензенти: **Єгоров В. М.**, академік НАН України, д.б.н., професор, головний наук. співроб. відділу радіаційної і хімічної біології Інституту біології південних морів ім. О. О. Ковалевського (ІнБІПМ) НАН України, м. Севастополь.

Томілін Ю. А., д.б.н., професор Чорноморського державного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв.

© Мирзоева Н. Ю., Гулин С. Б., Архіпова С. І., Коркішко Н. Ф., Мігаль Л. В., Мосейченко І. М., Сидоров І. Г., 2013

Дата надходження статті до редколегії 30.04.2013 р.

МІРЗОЄВА Наталя Юріївна – к.б.н., завідувачка лабораторією радіаційної екології та біогеохімії відділу радіаційної і хімічної біології (ВРХБ) Інституту біології південних морів ім. О. О. Ковалевського (ІнБПМ) НАН України, м. Севастополь, Україна.

Коло наукових інтересів: радіоекологія водних екосистем, радіотрасерні методи, вивчення біогеохімічних критеріїв нормування потоків радіоактивних речовин природного і техногенного походження, біогеохімічних факторів концентрації, перерозподілу і міграції елементів – хімічних аналогів ^{90}Sr і ^{137}Cs , еквідозиметрія.

ГУЛІН Сергій Борисович – д.б.н., професор, завідувач відділу радіаційної і хімічної біології (ВРХБ) Інституту біології південних морів ім. О. О. Ковалевського (ІнБПМ) НАН України, м. Севастополь, Україна.

Коло наукових інтересів: морська радіохемоекологія, дослідження процесів евтрофікації, радіоактивного і хімічного забруднення морського середовища, реконструкція хронології надходження антропогенних радіонуклідів, ПХБ, пестицидів, важких металів і мікроелементів у донні відкладення з використанням природних і антропогенних радіотрасерів, роль метанових струминних газовиділень із дна Чорного моря, якість глибинних вод сірководневої зони Чорного моря.

АРХІПОВА Світлана Іванівна – провідний інженер ВРХБ ІнБПМ НАН України, м. Севастополь, Україна.

Коло наукових інтересів: радіохімічні методи визначення концентрації ^{90}Sr у природних об'єктах.

КОРКІШКО Ніна Федорівна – провідний інженер ВРХБ ІнБПМ НАН України, м. Севастополь, Україна.

Коло наукових інтересів: радіохімічні методи визначення концентрації ^{90}Sr у природних об'єктах.

МІГАЛЬ Лариса Вікторівна – провідний інженер ВРХБ ІнБПМ НАН України, м. Севастополь, Україна.

Коло наукових інтересів: методи визначення стабільного стронцію, радіохімічні методи визначення концентрації ^{90}Sr у природних об'єктах.

МОСЕЙЧЕНКО Ігор Миколайович – провідний інженер ВРХБ ІнБПМ НАН України, м. Севастополь, Україна.

Коло наукових інтересів: радіохімічні методи визначення концентрації ^{137}Cs у природних об'єктах.

СИДОРОВ Ілля Геннадійович – молодший науковий співробітник ВРХБ ІнБПМ НАН України, м. Севастополь, Україна.

Коло наукових інтересів: радіохімічні методи визначення концентрації ^{137}Cs у природних об'єктах, визначення швидкостей седиментації зваженої речовини й осадонакопичення радіотрасерними методами.