

РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ И ВОДОЕМАХ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ В 2016 ГОДУ

Т.А. Васюкевич, Л.С. Нитиевская

*ФГБНУ «АтлантНИРО», г. Калининград
radiology@atlantniro.ru*

Васюкевич Т.А., Нитиевская Л.С. Радиационная обстановка в Балтийском море и водоемах Калининградской области в 2016 году // Труды АтлантНИРО. 2017. Новая серия. Том 1, № 2. Калининград : АтлантНИРО. С. 5–20.

Приведены результаты радиоэкологических исследований водных биологических ресурсов, донных отложений и воды в 26-м подрайоне Балтийского моря, российских зонах Куршского и Вислинского заливов и внутренних водоемах Калининградской области, а также поверхностной воды в проливах Скагеррак и Каттегат в 2016 г. Поступление ^{137}Cs и ^{90}Sr в Балтийское море через датские проливы признано несущественным. Установлены зависимости между содержанием ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th в донных отложениях Балтийского моря и глубиной места. Загрязнение донных отложений в 26-м подрайоне Балтийского моря ^{137}Cs мозаично и определяется перераспределением, в основном постчернобыльских выпадений. Приведены карты загрязнения ^{137}Cs донных осадков Куршского и Калининградского заливов. По данным наблюдений 1995–2016 гг., эффективный период полуснижения активности ^{137}Cs в воде юго-восточной части Балтийского моря составил 11,1 лет. Представлены результаты наблюдений за содержанием ^{137}Cs в основных промысловых рыбах Балтийского моря, Куршского и Вислинского заливов и пресноводных водоемов в 1995–2016 гг. Периоды полувыведения ^{137}Cs из тканей рыб составили от 11,3 до 18,7 лет. Выявлена зависимость скорости выведения ^{137}Cs от типа питания рыб. В 2016 г. максимум содержания ^{137}Cs зарегистрирован в крупном судаке Вислинского залива - 16,6 Бк/кг. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в водных биологических ресурсах во всех зонах наблюдения ниже допустимых уровней активности. Радиационная обстановка в морских водах и внутренних водоемах Калининградской области по радиологическим показателям безопасна.

Ключевые слова: ^{137}Cs , ^{90}Sr , вода, донные отложения, рыба, Балтийское море, Куршский залив, Калининградский залив

Vasyukevich T.A., Nitiyevskaya L.S. Radiation situation in the Baltic Sea and water reservoirs of the Kaliningrad region in 2016 // Trudy AtlantNIRO. 2017. New series. Vol. 1, № 2. Kaliningrad : AtlantNIRO. P. 5–20.

Results of the radioecological investigations of aquatic biological resources, sediments and water in Subarea 26 of the Baltic Sea, the Russian zones of the Curonian and Vistula (Kaliningrad) lagoons and inland water reservoirs of the Kaliningrad region, and surface water of Skagerrak and Kattegat carried out in 2016 are presented. ^{137}Cs and ^{90}Sr input to the Baltic Sea through the Danish straits is recognized as insignificant. Dependence between the content of ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th in the Baltic Sea bottom sediments and the depth of the area is determined. Contamination of bottom sediments with ^{137}Cs in Subarea 26 of the Baltic Sea is of mosaic nature, and is determined by redistribution of, mainly, the post-Chernobyl fall-outs. Maps of ^{137}Cs contents in the bottom sediments of the Curonian and Vistula (Kaliningrad) lagoons are given. Based on results of supervisions carried out in 1995–2016, the calculated effective half-life of ^{137}Cs activity in the water of the southeastern Baltic Sea made up 11.1 years. The results of supervisions of ^{137}Cs content in the main commercial fishes of the Baltic Sea, the Curonian and Vistula lagoons, and freshwater bodies in 1995–2016 are

presented. Half-life of ^{137}Cs activity in the Baltic Sea fishes tissues ranged from 11.3 to 18.7 years. Dependence of ^{137}Cs half-life rate on feeding type of fish is revealed. In 2016 the maximum content of ^{137}Cs was registered in a large specimen of pike perch of the Vistula Lagoon – 16.6 Bq / kg. ^{137}Cs and ^{90}Sr content in the aquatic biological resources in all the supervised areas is below the tolerance. Radiation situation in marine and inland water reservoirs of the Kaliningrad region can be recognized as safe in terms of radiological indicators.

Key-words: ^{137}Cs , ^{90}Sr , water, bottom sediments, fish, Baltic Sea, Curonian lagoon, Vistula (Kaliningrad) lagoon

Введение

Радиоэкологический мониторинг Балтийского моря осуществляют специалисты всех стран Балтийского региона. Результаты этих исследований регулярно публикует Хельсинская комиссия по охране морской природной среды Балтийского моря (ХЕЛКОМ) [HELCOM, 1995, 2003, 2006, 2009, 2013]. С российской стороны систематические исследования региона проводятся, в том числе в рамках тематик Росатома, лабораторией мониторинга радиоактивного загрязнения окружающей среды Радиового института [Степанов, 2009] и по тематике Росрыболовства – лабораторией радиоэкологических исследований АтлантНИРО [Радиационная..., 1991–2008].

Поступление искусственных радионуклидов в акваторию Балтийского моря связано главным образом с глобальными выпадениями, обусловленными испытаниями ядерного оружия и выпадениями после аварии на Чернобыльской атомной станции как непосредственно на поверхность, так и с береговым стоком. За время существования атомной энергетики произошло более 150 аварий различного типа, среди которых Чернобыльская стала самой крупной экологической катастрофой как по уровню радиоактивных выбросов, так и по площади загрязнения земной поверхности. Последствия этой аварии существенно отразились и на экологии всей экосистемы Балтики. В целом в водную среду поступает до 80 % антропогенных радиоактивных загрязнений, превращая её в мощное депо не только естественных, но и искусственных радионуклидов [Пивоваров, 2004].

В 1975–1985 гг. содержание цезия-137 (^{137}Cs) в водах Балтийского моря находилось в интервале от 20 до 45 Бк/м³ и стронция-90 (^{90}Sr) – от 8 до 16 Бк/м³ [Степанов и др., 2009; Plus, 2007]. В результате аварии на Чернобыльской атомной станции в 1986–1987 гг. содержание ^{137}Cs в воде Балтийского моря возросло до 100–200 Бк/м³ и ^{90}Sr – до 15–40 Бк/м³, а в водах Финского и Ботнического заливов содержание ^{137}Cs достигало 500–970 Бк/м³. К 2010 г. содержание ^{137}Cs в водах Балтики значительно снизилось, однако почти повсеместно (исключение – акватория Финского залива и пролив Каттегат) превышало дочернобыльский уровень [HELCOM, 2013].

Неблагоприятные последствия радиоактивного загрязнения рыбохозяйственных водоемов, каковыми являются Балтика, морские заливы и внутренние водоемы Калининградской области, могут быть связаны главным образом с возможностью поступления радиоактивных веществ в организм человека с водными биоресурсами.

Цель данного сообщения – описание результатов радиоэкологического мониторинга Балтийского моря, российских зон Куршского и Вислинского заливов и внутренних водоемов Калининградской области, выполненных АтлантНИРО в 2016 г.

Материал и методика

Наши радиоэкологические исследования водных биологических ресурсов (ВБР) и среды их обитания проводились в юго-восточной части (26-м подрайоне) Балтийского моря (ЮВБ), российских зонах Куршского и Вислинского заливов и внутренних водоемах Калининградской области (реки Неман и Преголя, озеро Виштынецкое, Правдинское водохрани-

лице на реке Лава), а также поверхностной воды в проливах Скагеррак и Каттегат. Радиоактивное загрязнение среды обитания ВБР оценивали по радиационно-гигиеническим показателям воды и донных отложений водоемов. Среди основных современных загрязнителей водных экосистем наибольшее значение в радиационно-гигиеническом аспекте имеют техногенные долгоживущие стронций-90 (^{90}Sr) и цезий-137 (^{137}Cs). По ним и определялся уровень загрязнения среды обитания. Кроме того, в донных осадках изучалось содержание основных естественных радионуклидов (ЕРН), определяющих дозовую нагрузку на придонные организмы – калия-40 (^{40}K), радия-226 (^{226}Ra) и тория-232 (^{232}Th).

Регулярные наблюдения за радиационной обстановкой в море и заливах начались с начала 90-х годов прошлого столетия. В Балтийском море экспедиционными судами АтланНИРО и ежеквартально на прибрежной станции многолетних наблюдений в п. Лесном на Куршской косе отбирали для исследований пробы воды, объемом по 100 дм^3 каждая, из поверхностного слоя (рис. 1) и донных осадков (рис. 2). Отбор проб производили по ГОСТ [Вода, 2012; Охрана природы, 1980].

Экспедиционные исследования в Куршском и Вислинском заливах в пределах территориальных вод России выполнялись ежеквартально по схеме стандартных станций (рис. 3, 4). Всего в 2016 г. в заливах выполнено 13 экспедиций.

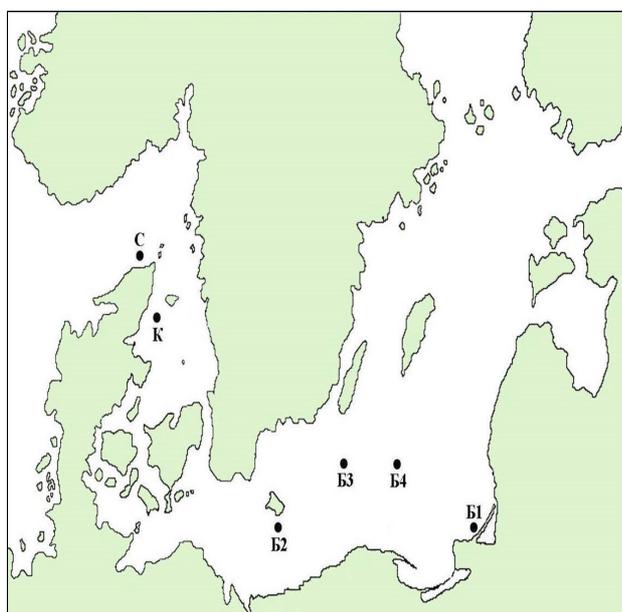


Рис. 1. Станции отбора проб воды в рейсах СТМ «Атлантида» октябрь–декабрь 2015 г. и октябрь–декабрь 2016 г.
Fig. 1. Stations for water sampling in the cruises of STM «Atlantida» in October–December 2015 and October–December 2016

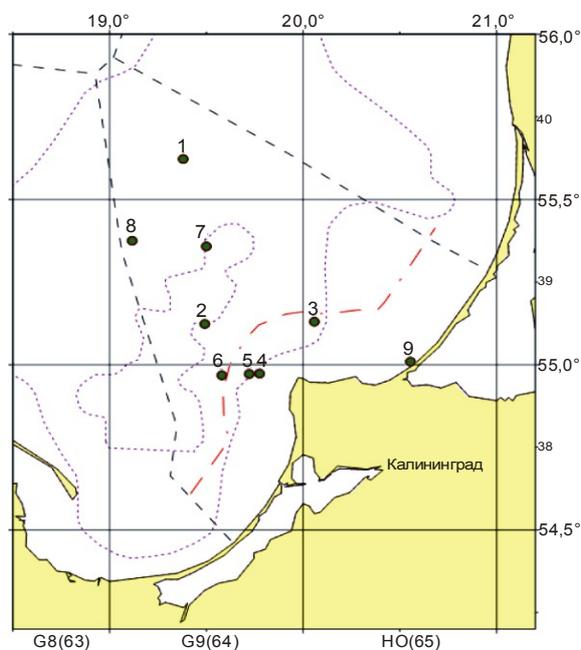


Рис. 2. Станции отбора проб донных отложений в рейсе СТМ «Атлантниро» октябрь 2016 г.
Fig. 2. Stations for bottom sediments sampling in the cruise of STM «Atlantniro» in October 2016

Исследования воды проведены по методикам радиохимического определения ^{90}Sr и ^{137}Cs [Сборник, 1989] и с использованием селективного сорбента [Методика, 1995]. Определение содержания ЕРН и ^{137}Cs в счетных образцах воды, донных отложениях и ВБР определяли на спектрометрическом комплексе «Прогресс-БГ» (блок детектирования NaI(Tl) 63×63 , программное обеспечение Прогресс 5.1). Активность препаратов, выделенных при радиохимических анализах ^{90}Sr в воде, донных осадках и костной ткани рыб, измеряли на радиометрической установке малого фона УМФ-2000 с полупроводниковым детектором Si(Al). Удельная активность радионуклидов в донных отложениях выражена в Бк/кг сухой массы, объемная активность воды – в Бк/ м^3 . Относительная погрешность измерений составила 13–60 %. Для средних значений полученных величин приведены доверительные интервалы (уровень значимости 0,05).

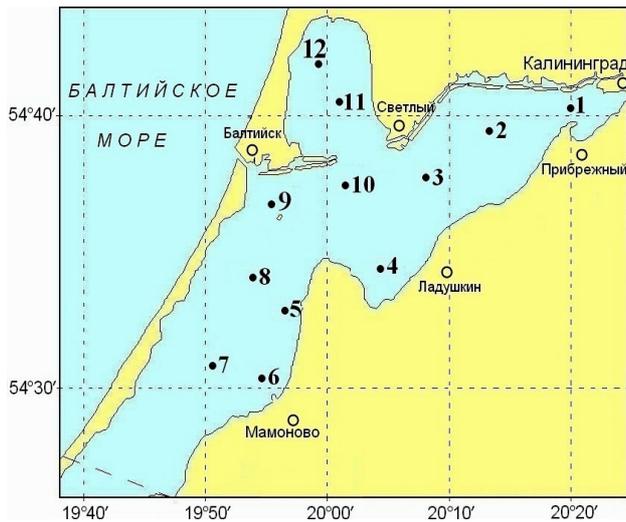


Рис. 3. Станции отбора проб в Вислинском (Калининградском) заливе

Fig.3. Sampling stations in the Vistula (Kaliningrad) lagoon

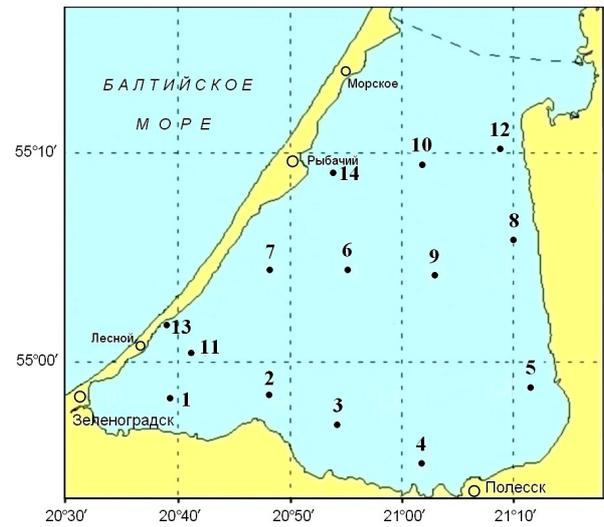


Рис. 4. Станции отбора проб в Куршском заливе

Fig. 4. Sampling stations in the Curonian lagoon

Объемная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr определена в 15 пробах балтийской воды и 49 пробах воды заливов; содержание ЕРН и техногенных радионуклидов анализировалось в 10 пробах донных осадков Балтики и 150 – заливов (табл. 1). В 98 пробах ВБР определено содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr (табл. 2).

Таблица 1

Объем исследований радионуклидного состава среды обитания ВБР в 2016 г.
Number of studies of radionuclide composition of aquatic biological resources habitat in 2016

Район отбора проб	Объект исследования	Количество проб
Балтийское море	Вода	15
	Донные отложения	10
Куршский залив	Вода	26
	Донные отложения	71
Вислинский залив	Вода	23
	Донные отложения	79

Таблица 2

Число образцов рыб, исследованных по показателям радиационной безопасности в 2016 г.
Number of samples of fish examined in terms of radiation safety indicators in 2016

Район промысла	Объект исследования	Кол-во проб
Балтийское море	Камбала балтийская речная <i>Platichthys flesus trachurus</i>	7
	Сельдь балтийская (салака) <i>Clupea harengus membras</i>	10
	Треска балтийская <i>Gadus morhua calbarias</i>	7
	Шпрот балтийский <i>Sprattus sprattus balticus</i>	7
Куршский залив	Корюшка <i>Osmerus eperlanus eperlanus</i>	4
	Лещ <i>Abramis brama</i>	10
	Плотва <i>Rutilus rutilus</i>	7
	Сиг <i>Coregonus lavaretus</i>	7
	Судак <i>Stizostedion lucioperca</i>	14
Чехонь <i>Pelecus cultratus</i>	5	
Вислинский залив	Корюшка <i>Osmerus eperlanus eperlanus</i>	2
	Лещ <i>Abramis brama</i>	7
	Плотва <i>Rutilus rutilus</i>	4
	Сельдь балтийская (салака) <i>Clupea harengus membras</i>	2
	Судак <i>Stizostedion lucioperca</i>	5

Радиоэкологический мониторинг внутренних водоемов Калининградской области осуществлялся на оз. Виштынецком, Правдинском водохранилище, реках Неман и Преголя. Объектами исследований были донные отложения, вода и ВБР (табл. 3).

Таблица 3

Число проб при радиоэкологическом мониторинге водоемов Калининградской области
Number of samples when radioecological monitoring of water reservoirs of the Kaliningrad region

Наименование водоема	Количество проб			
	вода	донные отложения	окунь речной <i>Perca fluviatilis</i>	плотва <i>Rutilus rutilus</i>
оз. Виштынецкое	2	6	4	6
Правдинское водохранилище	2	6	2	3
р. Преголя	2	6	3	3
р. Неман	2	6	5	5

Результаты

Величины объемной активности техногенных радионуклидов в воде Балтийского моря, его заливов и проливов (табл. 4) и удельной активности радионуклидов в донных осадках Балтийского моря (табл. 5) варьируют в широких пределах.

Таблица 4

Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде Балтийского моря, Куршского и Вислинского заливов, проливов Каттегат и Скагеррак в 2016 г. (мин-макс / средняя \pm доверительный интервал)
 ^{137}Cs and ^{90}Sr content in the water of the Baltic Sea, Curonian and Vistula lagoons, Kattegat and Skagerrak in 2016 (min-max / mean \pm confidence interval)

Район отбора проб	S, %	Объемная активность, Бк/м ³	
		^{137}Cs	^{90}Sr
Пролив Скагеррак	33,2–34,1	0,8–2,4 / 1,6 \pm 0,8	0,85 \pm 0,50
Пролив Каттегат	22,7–29,8	8,6–11,0 / 9,8 \pm 2,2	1,9 \pm 1,1
Р-н о-ва Борнхольм	7,5–7,9	31,0–34,2 / 32,4 \pm 4,6	4,1 \pm 1,9
Южная Балтика	7,1–7,6	25,2–29,7 / 27,5 \pm 4,0	4,7–5,4 / 5,0 \pm 0,8
ЮВЧБМ	6,1–7,2	22,0–32,0 / 25,2 \pm 4,8	3,6–5,0 / 4,5 \pm 0,6
Вислинский залив	2,0–4,9 / 4,20 \pm 0,45	6,0–20,4 / 12,8 \pm 1,8	2,6–5,5 / 3,6 \pm 0,5
Куршский залив	менее 0,1	0,2–5,6 / 2,0 \pm 0,6	0,48–2,8 / 1,70 \pm 0,30

Таблица 5

Удельная активность донных отложений Балтики и заливов в 2016 г.
Specific activity of bottom sediments of the Baltic Sea and the lagoons in 2016

Район наблюдений	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs	^{90}Sr
Балтийское море	110–880 /	10,8–42 /	3,2–43 /	6,7–104 /	0,7–1,9 /
	580 \pm 350	29 \pm 14	27 \pm 19	33 \pm 43	1,0 \pm 0,5
Вислинский залив	390–690 /	15,3–35 /	9,1–30 /	29,7–165 /	0,1–3,1 /
	539 \pm 22	23,1 \pm 1,3	19,2 \pm 1,5	75 \pm 9	1,33 \pm 0,33
Куршский залив	230–490 /	8,9–25 /	5,6–23 /	1,7–63 /	0,25–4,2 /
	353 \pm 25	17,7 \pm 1,9	15,9 \pm 1,8	29 \pm 6	2,06 \pm 0,45

Содержание ЕРН в исследованных отложениях Балтийского моря достоверно возрастает с глубиной (рис. 5). Коэффициенты корреляции удельных активностей ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th с глубиной отбора проб составили 0,74–0,83.

В исследованных прибрежных песках (пос. Лесной, Куршская коса) содержание природных и техногенных радионуклидов составило ^{40}K 66-160, ^{226}Ra 8,6-13,4, ^{232}Th 0,6-2,1, ^{137}Cs 1,6-3,2, ^{90}Sr 0,51-0,69 Бк/кг. Это значительно ниже, чем в глубокой части 26-го подрайона Балтики (табл. 5).

У основных промысловых рыб Балтийского моря, Куршского и Вислинского заливов ^{137}Cs определяли в мышечной ткани, а ^{90}Sr – в костной (табл. 6).

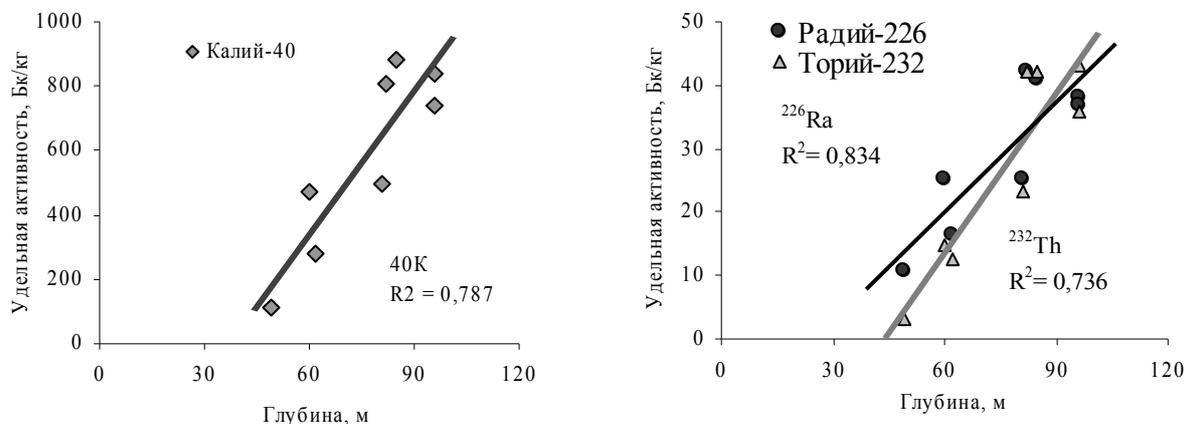


Рис. 5. Зависимость естественной радиоактивности осадков Балтики от глубины
Fig. 5. Dependence of natural fall-outs radioactivity of the Baltic Sea on the depth

Таблица 6

Удельная активность тканей рыб в 2016 г.
Specific activity of tissues of fishes in 2016

Район промысла	Объект исследования	Удельная активность, Бк/кг	
		^{137}Cs	^{90}Sr
Балтийское море	Камбала балтийская речная <i>Platichthys flesus trachurus</i>	3,6–5,4 / 4,6±0,6	1,2–2,4 / 1,6±0,6
	Сельдь балтийская (салака) <i>Clupea harengus membras</i>	1,4–4,1 / 3,1±0,7	0,1–0,8 / 0,4±0,3
	Треска балтийская <i>Gadus morhua calbarias</i>	4,2–6,8 / 5,4±0,9	1,2–2,4 / 1,8±0,7
	Шпрот балтийский <i>Sprattus sprattus balticus</i>	2,2–4,0 / 3,2±0,6	0,1–0,8 / 0,3±0,3
Куршский залив	Лещ <i>Abramis brama</i>	0,2–3,2 / 1,1±0,5	2,8–4,0 / 3,4±1,7
	Плотва <i>Rutilus rutilus</i>		
	Чехонь <i>Pelecus cultratus</i>		
	Судак <i>Stizostedion lucioperca</i>	0,4–3,7 / 2,1±0,6	1,8–2,1 / 2,0±0,4
	Корюшка <i>Osmerus eperlanus eperlanus</i>	3,2–5,5 / 4,1±1,6	–
Сиг <i>Coregonus lavaretus</i>	4,3–7,7 / 6,4±1,0	–	
Вислинский залив	Лещ <i>Abramis brama</i>	0,8–4,2 / 1,8±0,6	2,6–3,0 / 2,9±0,8
	Плотва <i>Rutilus rutilus</i>		
	Судак <i>Stizostedion lucioperca</i>	6,3–16,6 / 11,0±5,0	2,2–2,4 / 2,3±0,5
	Сельдь балтийская (салака) <i>Clupea harengus membras</i>	0,8–1,2 / 0,9±0,5	0,1–0,8 / 0,4±0,3
	Корюшка <i>Osmerus eperlanus eperlanus</i>		

Результаты радиозэкологического мониторинга внутренних водоемов Калининградской области обобщены в табл. 7, 8.

Таблица 7

Радионуклиды в воде и донных осадках внутренних водоемов Калининградской области
Radionuclides in the water and bottom sediments of inland water reservoirs of the Kaliningrad region

Район наблюдений	Вода, Бк/м ³		Донные отложения, Бк/кг				
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
оз. Виштынецкое	2,1±1,6	4,0±0,8	240–370 / 330±50	7,7–17,4 / 11,1±3,5	2,9–9,1 / 5,6±2,6	2,8–7,5 / 4,8±1,6	0,6–1,3 / 1,0±0,8
Правдинское вдхр.	3,5±1,6	3,1±1,3	24–1200 / 380±435	6,1–46 / 16,6±15,4	4,5–19,0 / 10,4±6,1	0,5–4,4 / 1,6±1,5	0,1–1,1 / 0,6±0,8
р. Преголя	4,4±1,5	3,0±0,8	270–460 / 355±80	9,5–22,3 / 16,6±4,6	4,8–16,5 / 10,7±4,0	0,5–2,9 / 1,6±1,2	0,4–1,7 / 1,0±0,8
р. Неман	4,4±2,2	3,0±1,2	270–440 / 320±70	10,2–24,4 / 16,2±5,2	6,0–16,8 / 10,2±3,9	0,5–2,1 / 1,3±0,6	1,0–1,6 / 1,3±0,6

Таблица 8

Радионуклиды в рыбах внутренних водоемов Калининградской области
Radionuclides in fishes of the inland water reservoirs of the Kaliningrad region

Водоем	Окунь речной <i>Perca fluviatilis</i>		Плотва <i>Rutilus rutilus</i>	
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
оз. Виштынецкое	3,2±1,0	0,9–1,4 / 1,2±0,8	0,5–3,2 / 2,8±1,7	1,8–3,3 / 2,6±1,5
Правдинское вдхр.	2,2±1,4	2,2±1,3	1,1–2,4 / 1,8±1,0	1,5–3,2 / 2,4±1,3
р. Преголя	3,1–3,7 / 3,4±1,2	2,7±1,6	0,2–1,8 / 1,0±0,8	1,7–3,2 / 2,4±1,3
р. Неман	0,6–2,0 / 1,7±1,0	1,0–2,8 / 1,9±1,1	1,2–1,7 / 1,4±0,5	1,8–3,4 / 2,6±1,6

Обсуждение

Для наблюдения за содержанием техногенных радионуклидов в морской воде и оценки возможного вклада сбросов западноевропейских предприятий ядерного топливного цикла в поступление загрязнителей в Балтийское море через датские проливы были проанализированы пробы воды, отобранной в проливах Каттегат и Скагеррак (табл. 4). В проливе Скагеррак, где вследствие притока вод Северного моря соленость воды достигает 34 ‰, объемная активность ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr не превышает фоновые значения, сформировавшиеся в водах открытой части Атлантического океана [WOMARS, 2005], и обусловлена преимущественно глобальным загрязнением. По мере снижения солености до 22,7 ‰ в проливе Каттегат возрастает влияние загрязненных вод собственно Балтийского моря, а вместе с тем растет и объемная активность ¹³⁷Cs до 11,0 Бк/м³. Объемная активность ⁹⁰Sr синхронно поднимается до 1,9 Бк/м³.

Концентрация ¹³⁷Cs в поверхностной воде в районе острова Борнхольм, южной части Балтики и в прибрежных водах юго-восточной Балтики значимо не отличается (27,8±2,6 Бк/м³), что объяснимо отсутствием вблизи станции многолетних наблюдений на Куршской косе значимого континентального стока, а активная штормовая деятельность создает предпосылки для выравнивания поля концентраций. Объемная активность ⁹⁰Sr в воде Балтийского моря составила 4,5±0,6 Бк/м³. Наблюдалась незначительная сезонная изменчивость активности, связанная с притоком в холодные периоды года более чистых в настоящее время североморских вод.

Чернобыльский фактор на современном этапе является определяющим высокое содержание ¹³⁷Cs в балтийской воде. По данным отчета Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), в настоящее время Балтийское море, наряду с Ирландским и Черным морями, характеризуется самым высоким содержанием радиоактивных веществ по сравнению со всеми другими морями земного шара (рис. 6) [IAEA, 2005].

Загрязнение Балтийского моря в результате аварии на Чернобыльской АЭС было неравномерным в силу различной интенсивности радиоактивных атмосферных выпадений. Это отражается на картах плотности выпадений ¹³⁷Cs на европейскую территорию [Атлас...,

1998] и загрязнения поверхностных вод Балтийского моря в 1986–1988 гг. (рис. 7), представленных в отчете МАГАТЭ [IAEA, 2005].

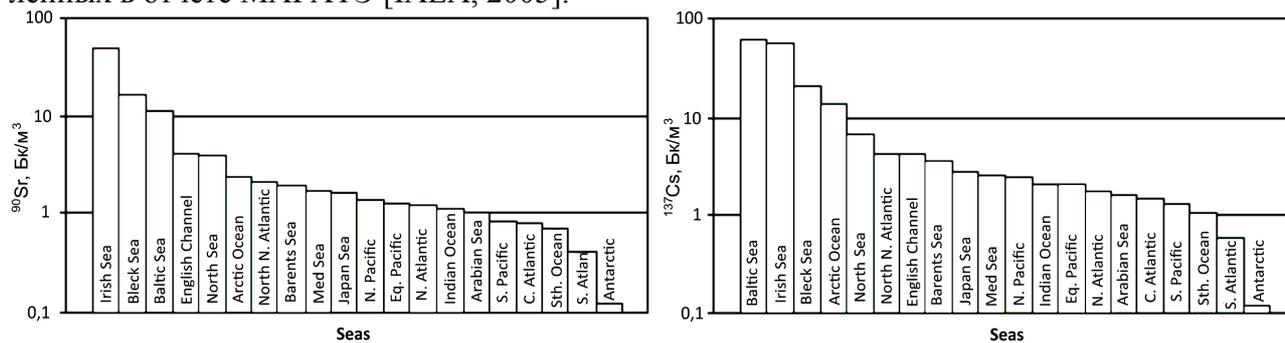


Рис. 6. Усредненные значения поверхностного загрязнения вод морей и океанов радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr (по данным на 01.01.2000 г.) [IAEA, 2005]

Fig. 6. Average values of surface contamination of the seas and oceans waters with ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides (based on the data of 01.01.2000) [IAEA, 2005]

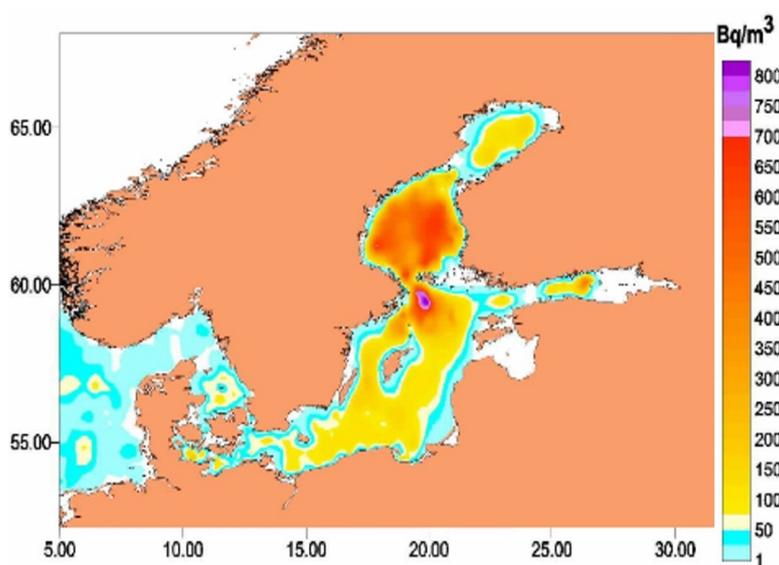


Рис. 7. Уровни ^{137}Cs в поверхностных водах Балтийского моря после Чернобыльской аварии в 1986–1988 гг. из базы данных GLOMARD [IAEA, 2005]

Fig. 7. ^{137}Cs levels in the Baltic Sea surface water after the Chernobyl accident in 1986–1988 as extracted from the GLOMARD database [IAEA, 2005]

В процессе аварийных выпадений в апреле–мае 1986 г. наибольшему загрязнению подверглись акватории Ботнического и центральной части Финского заливов. Доминирующим в этом загрязнении оказался ^{137}Cs . Снижение его содержания началось с северных районов Ботнического и восточных районов Финского заливов за счет притока пресных вод, впадающих в заливы рек с низкой активностью ^{137}Cs . Сложный комплекс гидрологических процессов, воздействию которых подвергся поступивший на поверхность моря ^{137}Cs , явился причиной его дальнейшего практически равномерного перераспределения по всей акватории Балтийского моря. К настоящему времени содержание ^{137}Cs в водах собственно Балтики значительно выше, чем в водах его заливов.

Результаты собственных многолетних регулярных наблюдений содержания ^{137}Cs в акватории 26-го подрайона Балтийского моря позволяют подтвердить общую тенденцию снижения объемной активности ^{137}Cs в морской воде. При этом хорошо выражены сезонные колебания концентраций и общий многолетний тренд (рис. 8).

Наблюдаемое снижение объемной активности ^{137}Cs в воде Балтийского моря обусловлено радиоактивным распадом, выносом радионуклидов из Балтики через проливы и аккумуляцией донными отложениями. Несмотря на общую тенденцию снижения концентрации радионуклидов, активность ^{137}Cs в воде Балтики по-прежнему превышает в среднем в 25 раз аналогичные значения в океанической воде [WOMARS, 2005].

Рассчитанный для нашего района наблюдений период полуснижения активности ^{137}Cs в морской воде – 11,1 лет, что несколько ниже приведенного в рекомендациях МАГАТЭ (табл. 9), где представлены значения периодов полувыведения для различных районов Мирового океана. Это может свидетельствовать о несколько ускоренном относительно средних значений очищении 26-го подрайона Балтийского моря от данного радионуклида.

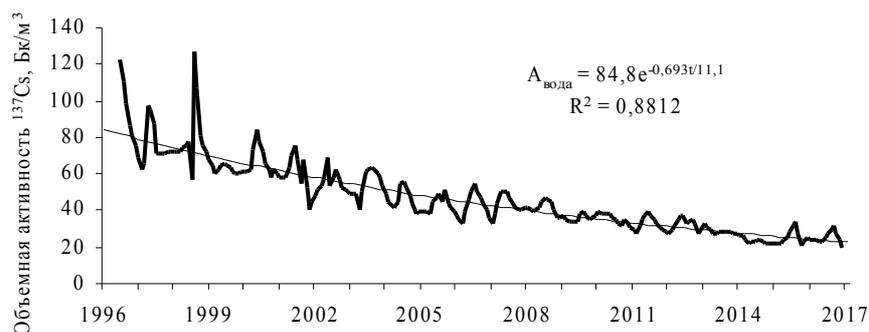


Рис. 8. ^{137}Cs в воде юго-восточной части Балтийского моря в 1996–2016 гг.

Fig. 8. ^{137}Cs in the water of the southeastern Baltic Sea in 1996–2016

Таблица 9

Среднее время полувыведения ^{90}Sr и ^{137}Cs , лет [WOMARS, 2005]
The average half-life of ^{90}Sr and ^{137}Cs , years [WOMARS, 2005]

Акватория	Среднее время полувыведения $\pm 1\sigma$, год	
	^{90}Sr	^{137}Cs
Балтийское море	$12,0 \pm 1,7$	$14,1 \pm 1,8$
Северное море	$6,9 \pm 0,4$	$5,7 \pm 0,3$
Баренцево море	$5,8 \pm 0,5$	$4,2 \pm 0,2$
Средиземное море	–	9,6
Атлантический океан	$22,5 \pm 2,4$	$20,6 \pm 3,0$
Северная	$15,8 \pm 4,3$	$18,8 \pm 4,2$ $15,4 \pm 4,6$ [Доманов, 2015]
Центральная	$24,4 \pm 2,1$	$24,0 \pm 5,7$ $12,3 \pm 1,6$ [Доманов, 2015]

Содержание ^{137}Cs в водах Куршского и Вислинского заливов значительно ниже, чем в водах собственно Балтийского моря. Незначительное содержание ^{137}Cs в воде Куршского залива – $0,7\text{--}0,8$ Бк/м³, где реки, в основном Неман и Дейма, обеспечивают большой приток пресных вод с низким содержанием этого радионуклида, в настоящее время находится на фоновом уровне, установившемся в проточных пресноводных водоемах европейской территории России. Содержание ^{90}Sr в воде залива в среднем составило $1,7$ Бк/м³, что ниже средней объемной активности ^{90}Sr в воде рек европейской территории России, составляющей, по данным НПО «Тайфун» Росгидромета, в 2007–2015 гг. – $4,2\text{--}5,1$ Бк/м³ [Радиационная..., 2016].

В небольшой по глубине и объему вод Вислинский залив через широкий Балтийский пролив поступает морская вода, а поступление речной воды, наоборот, – значительно меньше, чем в Куршский. Соленость залива изменяется в течение года и зависит главным образом от направления ветра. Приток морских вод является наиболее значимым фактором, определяющим сезонную и пространственную изменчивость уровня загрязнения. В 2016 г. соленость исследованных проб варьировала от 2,0 до 4,9 ‰ при среднем значении 4,2 ‰. Содержание ^{137}Cs в воде залива изменялось от 6,0 до 20,4 Бк/м³, составив в среднем $12,8$ Бк/м³, что

на 8 % ниже этого значения в 2015 г. При этом корреляция между объемной активностью и соленостью для линейного уравнения регрессии очень слабая ($R^2=0,1626$), что говорит о влиянии на уровень загрязнения воды залива других, не менее значимых факторов, чем приток загрязненной балтийской воды, в частности подъем высокоактивных взвесей во время штормов.

Активность ^{90}Sr в воде Вислинского залива (от 3,6 до 5,5 Бк/м³) совпадала со средней объемной активностью ^{90}Sr в воде рек европейской территории России [Радиационная..., 2016]. В целом объемная активность ^{90}Sr в воде открытых водоемов имеет тенденцию к снижению, однако периодически наблюдается её рост. Это объясняется тем, что объемная активность этого радионуклида в поверхностных водах напрямую зависит от водности года, поскольку ^{90}Sr в почве находится в основном в подвижной ионной форме, и его вынос заметно усиливается во влажные периоды.

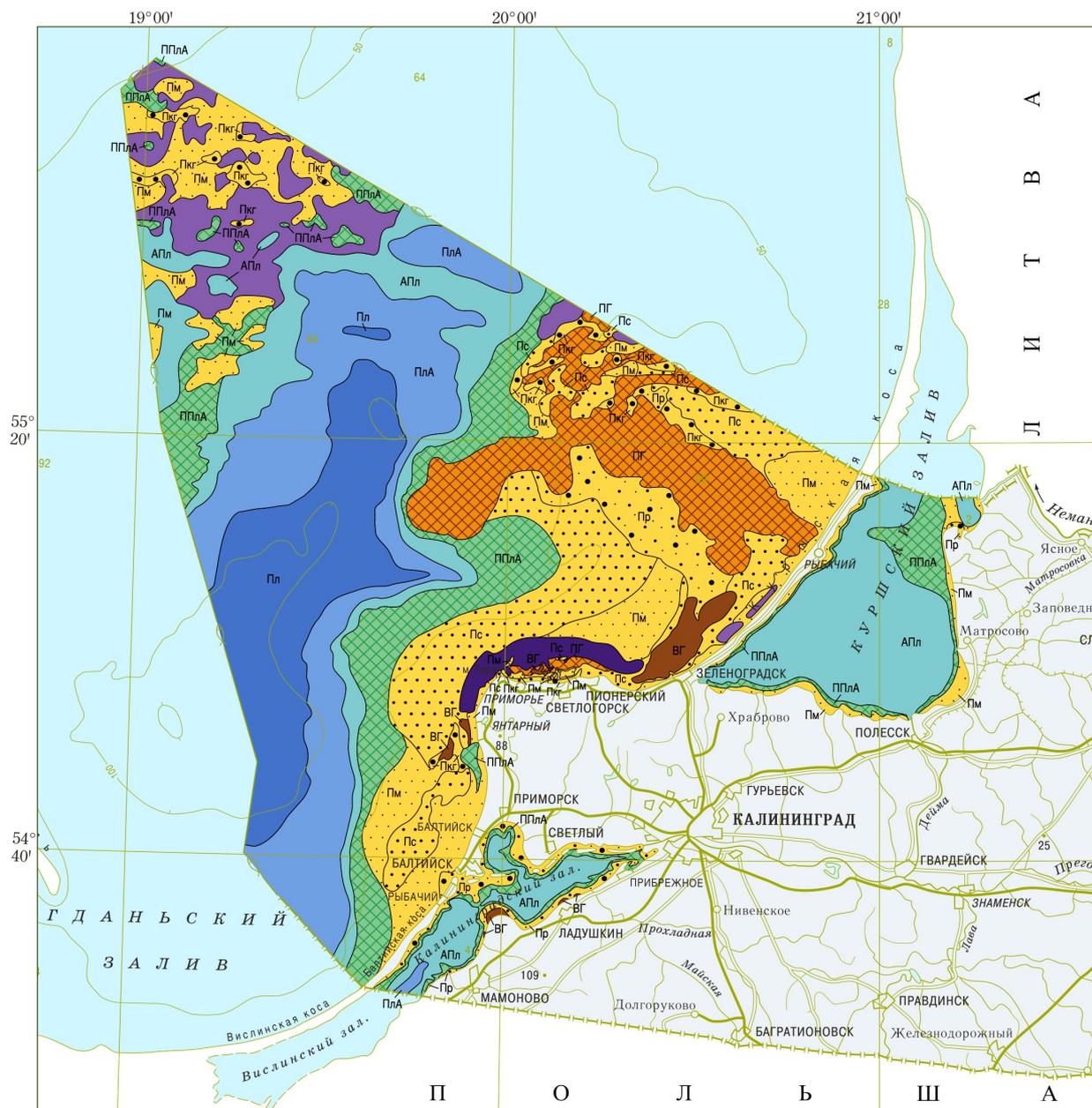


Рис. 9. Типы донных осадков юго-восточной части Балтийского моря России [Жамойда и др., 2011].
 ВГ – грубообломочные отложения, ПГ – пески с гравием и галькой, Пкг – пески крупно-грубозернистые, Пс – пески среднезернистые, Пм – пески мелкозернистые, Пр – пески различного гранулометрического состава, ППЛА – пески алевроглинистые, АПл – алевриты глинистые, Пла – пелиты алевритовые, Пл – пелиты

Fig. 9. Types of bottom sediments of the southeastern Baltic Sea [by Zhamoida et al., 2011].

ВГ – coarse sediments, ПГ – sands with gravel and pebbles, Пкг – large coarse-grained sands, Пс – medium-grained sands, Пм – fine grained sands, Пр – sands of different granulometric composition, ППЛА – clay aleuropelite sands, АПл – clay siltstone, ПЛА – pelite siltstone, Пл – pelites

Результаты наших исследований позволяют заключить, что в настоящее время в экосистеме Балтийского моря установилось динамическое равновесие между процессами поступления и выведения радионуклидов при отсутствии локальных источников загрязнения в зоне наблюдения. Низкая соленость, слабый водообмен с океаном и малые глубины Балтийского моря создают предпосылки для длительной задержки в экосистеме Балтики техногенных радионуклидов, поступивших из различных источников.

Техногенные радионуклиды, попадающие в водоемы, концентрируются донными осадками при отмирании гидробионтов, осаждении взвесей и сорбции из придонных горизонтов воды. Степень накопления радионуклидов донными отложениями зависит от физико-химического состава и дисперсности грунта, содержания радионуклидов в воде, гидродинамических условий, глубины, гидрохимических показателей воды, температуры и других факторов. При изменении солености, температуры и взмучивании донные отложения способны десорбировать радионуклиды, тем самым ухудшая качество воды.

Для рельефа дна Балтийского моря характерны наличие многочисленных впадин, песчаных и каменистых россыпей на прибрежных мелководьях и подводных порогах. В Юго-Восточной Балтике располагается Гданьская впадина с глубиной до 116 м, соединенная с Борнхольмской впадиной (глубина до 105 м) Слупским желобом. Центральные части глубоководных впадин покрыты пелитовыми илами, а для склонов впадин и желобов характерны алевритовые илы. Дно прибрежных мелководных районов покрыто песком, галькой и грубообломочным материалом (рис. 9). Под действием сильных волновых придонных течений отдельные участки дна размываются и обнажаются морены [Жамойда и др., 2011].

В Юго-Восточной Балтике на глубинах более 50 м выносами рек Неман и Висла сформировано обширное поле крупных алевритов. Содержание в них ^{137}Cs находится на уровне 51–60 Бк/кг. Основная масса тонкого пелитового и мелкоалевритового материалов отлагается на глубине 60–100 м в виде алевритово-пелитовых илов. В этих тонкодисперсных осадках депонировано основное количество ^{137}Cs , поступавшего на протяжении многих лет из водосборного бассейна, с характерным содержанием ^{137}Cs до 104 Бк/кг. В пробах, отобранных в 2016 г. в 26-м подрайоне Балтики, максимум выше 100 Бк/кг ^{137}Cs зарегистрирован только на одной станции – № 6. В соленой морской воде сорбция ионов $^{90}\text{Sr}^+$ донными осадками незначительна и распределение его достаточно однородно.

Донные осадки Куршского залива формируются выносами впадающих в него рек, преимущественно Неманом. Основным источником осадочного материала в Вислинском заливе являются твердые стоки рек, преимущественно Вислы, и выносы, поступающие с морскими водами через Балтийский пролив.

Донные осадки заливов представлены преимущественно алевритами, алевритопелитовыми илами, песками. Характерной особенностью является наличие в них значительной компоненты органического происхождения: илистые грунты содержат до 30 % органики, представленной растительно-животными остатками, детритом и гумусом; в песчаных грунтах количество органических веществ незначительно, в среднем 3 %.

Распределение ЕРН в поверхностном слое донных отложений залива определяется типом донных осадков. Содержание ^{226}Ra и ^{232}Th в большинстве проб не превышало 35 Бк/кг. Повышенные значения активности данных радионуклидов на прибрежной ст. 13 до 59 и 47 Бк/кг соответственно (в таблицу результатов не включены) определяются наличием примеси ильменитцирконовых песков, образующих в зоне прибоя существенные скопления. Активность ^{40}K варьирует от 230 до 690 Бк/кг, максимальные уровни зарегистрированы в пробах, где велико содержание органики. Средневзвешенная удельная активность ЕРН в донных отложениях Куршского залива составляет ^{40}K – 353 Бк/кг, ^{226}Ra – 17,7 и ^{232}Th – 15,9 Бк/кг.

Содержание ЕРН в донных осадках Вислинского залива несколько выше, чем в аналогичных в Куршском. Содержание ^{226}Ra в среднем 23,1 Бк/кг; ^{232}Th – 19,2 Бк/кг; ^{40}K – 539 Бк/кг.

Значения удельной активности ^{90}Sr в донных осадках заливов определены в диапазоне от 0,1 до 4,2 Бк/кг. Минимальные активности зарегистрированы в песчаных осадках, максимальные характерны для илов с примесью ракушечника и высоким содержанием CaCO_3 .

Стронций усваивается моллюсками для построения раковин аналогично кальцию. После отмирания организмов в процессе ионного обмена Ca и Sr, растворенных в воде и содержащихся в донных отложениях, содержание ^{90}Sr может меняться, однако скорость этих процессов крайне мала и сопоставима со скоростью распада данного радионуклида.

Распределение современных уровней загрязнения донных осадков заливов ^{137}Cs весьма мозаично (рис. 10). Удельная активность ^{137}Cs в донных отложениях Вислинского залива была в пределах от 30 до 165 Бк/кг и Куршского – от 1,7 до 63 Бк/кг. Широкий диапазон значений ^{137}Cs объясняется различной аккумуляционной способностью донных отложений: максимальную проявляют мелкодисперсные илы, в них депонирована большая часть цезия чернобыльского происхождения, поступающего на протяжении многих лет со всего водосборного бассейна. Содержание ^{137}Cs в них достигает 120–165 Бк/кг. Наиболее высокие концентрации ^{137}Cs характерны для илов глубоководной южной части Куршского залива и мелкоалевритовых илов, занимающих более 40 % площади дна Вислинского залива, все углубления в юго-западной и восточной частях залива и в западной части Приморской бухты.

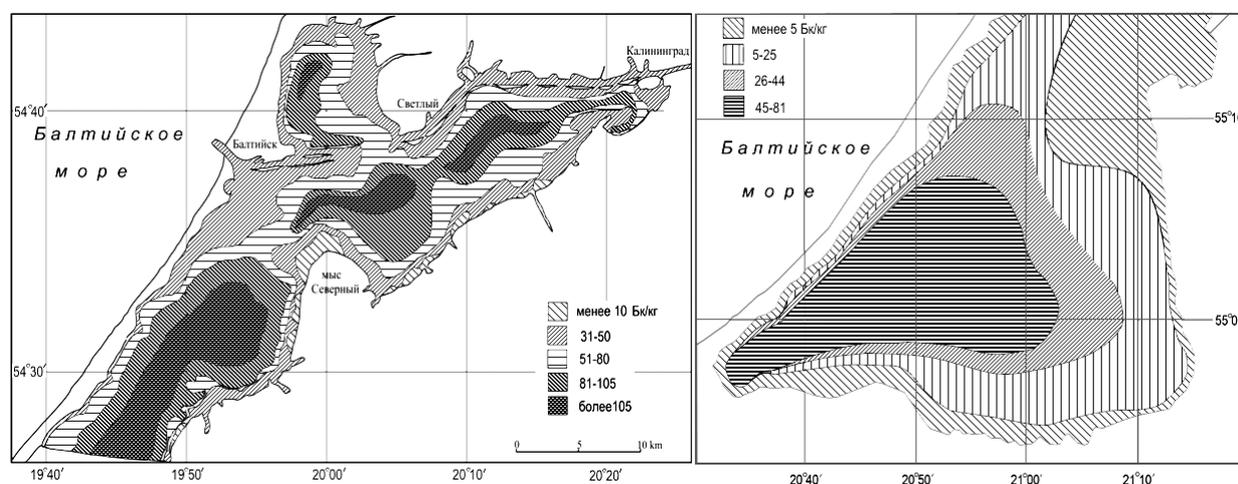


Рис. 10. ^{137}Cs в донных осадках Вислинского и Куршского заливов
 Fig. 10. ^{137}Cs in the bottom sediments of the Vistula and Curonian lagoons

Минимальные активности радионуклидов определены в песках прибрежных частей заливов. Средневзвешенная активность песчаных осадков Куршского залива в среднем в 10 раз ниже, чем илистых (3,4 и 34,0 Бк/кг).

Анализ полученных данных показал, что загрязнение донных отложений в исследованном районе Балтийского моря очень неравномерно и определяется перераспределением, в основном постчернобыльских выпадений. Современные уровни удельной активности ^{137}Cs в донных отложениях Куршского и Вислинского заливов сопоставимы с содержанием данного радионуклида в илистых осадках глубоководных впадин Юго-Восточной Балтики.

Вклад гамма-излучения ^{137}Cs , даже в наиболее загрязненных им донных осадках моря и заливов, в формирование доз внешнего излучения придонных организмов многократно ниже естественной радиоактивности, обусловленной наличием природных ^{40}K , ^{232}Th и ^{226}Ra .

На рис. 11 представлены многолетние результаты наблюдений за содержанием ^{137}Cs в основных промысловых рыбах Балтийского моря, Куршского и Вислинского заливов, а также приведены экспоненциальные зависимости активности тканей рыб от времени с начала периода наблюдений, достоверности аппроксимации и значения количества измерений (n). Знаменатель в степени основания натурального логарифма (e) равен периоду полувыведения ^{137}Cs ($T_{\text{эфф}}$) из тканей соответствующего объекта наблюдений.

Снижение активности тканей балтийских рыб происходит с $T_{\text{эфф}}$ от 11,3 до 18,7 лет. Ниж-

няя граница диапазона $T_{эфф}$ принадлежит планктофагу – балтийскому шпроту и совпадает с периодом получищения воды Юго-Восточной Балтики. На динамику самоочищения тканей хищников и бентофагов оказывает влияние загрязнение донных осадков, активность которых снижается значительно медленнее за счет привнесения в них загрязнителей с терригенными стоками.

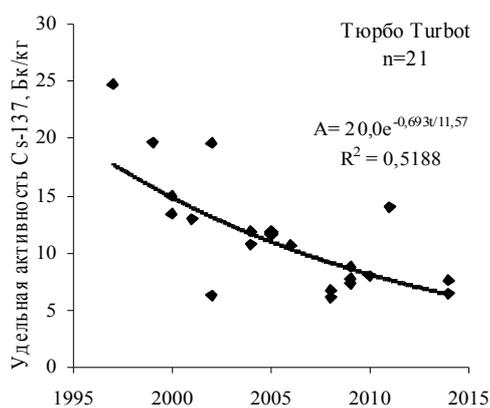
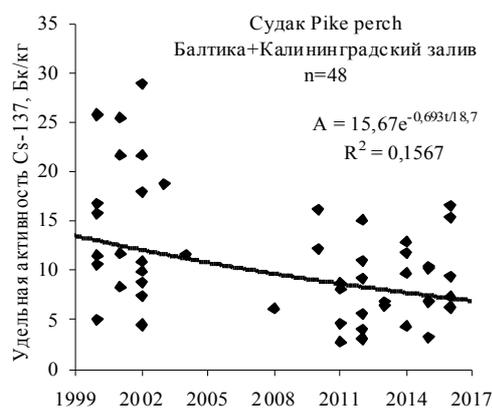
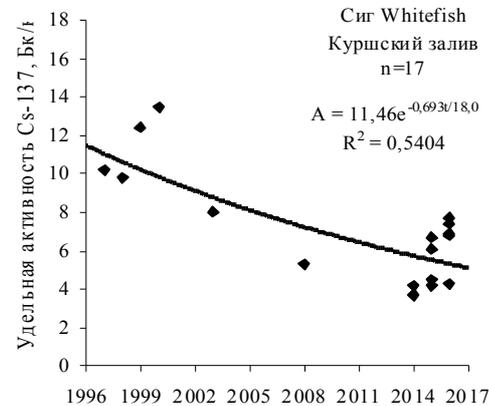
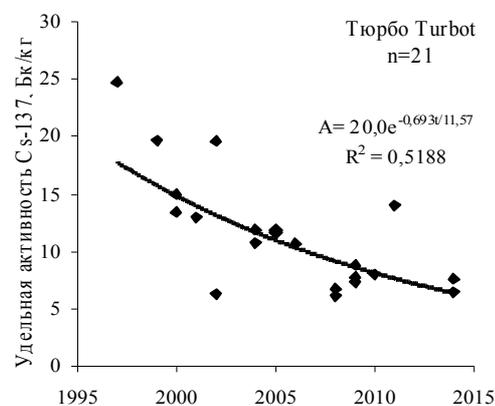
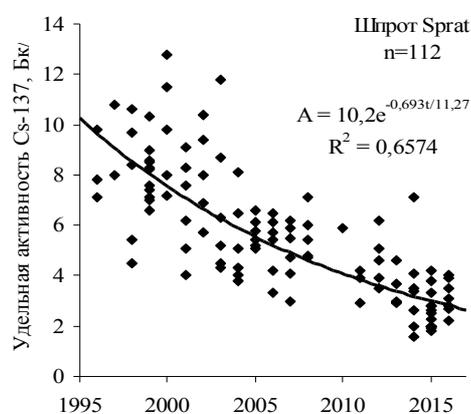
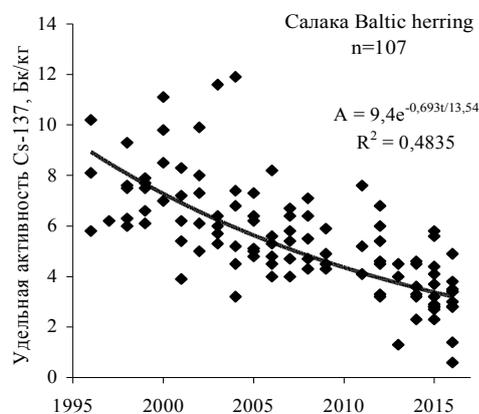
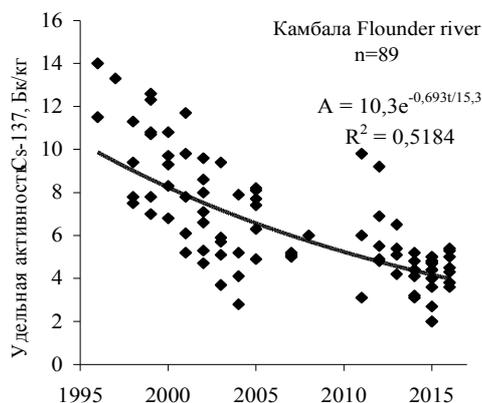
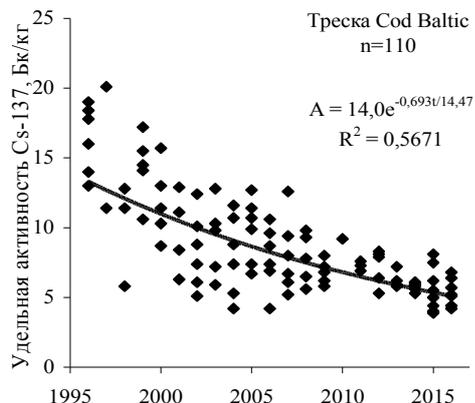


Рис. 11. Удельная активность ^{137}Cs в основных промысловых рыбах Балтийского моря, Куршского и Калининградского заливов в 1990–2010-е гг.

Fig. 11. ^{137}Cs specific activity in the main target commercial fish species of the Baltic Sea, Curonian and Vistula (Kaliningrad) lagoons in 1990–2010s

Уровень накопления радионуклидов тканями ВБР зависит от многих факторов, преимущественно от типа питания и от условий обитания, а также возраста и размера.

Максимум ^{137}Cs (16,6 Бк/кг) зарегистрирован в хищной рыбе – крупном (массой более 1 кг) судаке Вислинского залива. Таким образом, на накопление ^{137}Cs , вероятно, оказали влияние как эффект концентрирования в трофической цепи, так и пониженная соленость воды залива относительно морской воды, приводящая к замедлению скорости выведения радионуклида из организма. Аналогично максимальные значения активности ^{137}Cs среди ихтиофауны Куршского залива отмечены у сига – 7,7 Бк/кг – проходной рыбы, заходящей в залив и образующей промысловые скопления во время нереста.

Балтийская треска, донный хищник, содержит 6,8 Бк/кг ^{137}Cs . Промысловый размер трески значительно уменьшился: если в 1990-е годы её средняя длина в уловах колебалась от 38,4 до 45,9 см, то в начале 2000-х средняя длина не превышала 37,7 см [Карпушевский, 2003]. В связи с этим в данном исследовании не использованы крупные особи массой более 1 кг. Поэтому верхняя граница диапазона регистрируемых значений была достаточно низкой.

Радиационная безопасность рыбы и продукции, вырабатываемой из неё, определяется допустимыми уровнями удельной активности (ДУА) радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs , установленными СанПин 2.3.2.1078 [Гигиенические..., 2002] и ТР ТС 021/211 [Технический регламент..., 2011]. ДУА для ^{137}Cs в рыбе и рыбных продуктах 130 Бк/кг и для ^{90}Sr – 100 Бк/кг.

По результатам исследований 2016 г., уровень загрязнения ВБР радионуклидами зарегистрирован в диапазонах: ^{137}Cs 0,2–16,6 Бк/кг и 0,1–4,0 Бк/кг ^{90}Sr , что значительно ниже установленной допустимой удельной активности.

Уровень загрязнения среды обитания ВБР внутренних водоемов Калининградской области соответствует данным Росгидромета (НПО «Тайфун») по радиоактивному загрязнению водоемов европейской территории России, а уровень радиоактивного загрязнения ВБР внутренних водоемов Калининградской области значительно ниже установленной допустимой удельной активности [Радиационная..., 2016].

Заключение

Уровень радиоактивного загрязнения среды обитания ВБР в 26-м подрайоне Балтийского моря, территориальных водах РФ Куршского и Вислинского заливов, внутренних водоемах Калининградской области в 2016 г. не представлял опасности для водных биологических ресурсов.

Активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде и донных отложениях Балтийского моря, Куршского и Вислинского заливов не превышала значений, регистрируемых в районах наблюдения в предшествующее десятилетие. Уровень загрязнения среды обитания ВБР внутренних водоемов не превышал значений радиоактивного загрязнения водоемов европейской территории России, сформировавшихся после глобальных и чернобыльских выпадений.

Наблюдаемое снижение объемной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде Балтийского моря и как следствие – в водных биологических ресурсах обусловлено суммарным воздействием следующих факторов: выносом радионуклидов из Балтики через проливы, аккумуляцией их донными отложениями и радиоактивным распадом. Несмотря на общую тенденцию снижения концентрации радионуклидов, Балтийское море по-прежнему является одним из наиболее радиоактивно загрязненных морей мира.

Содержание техногенных радионуклидов в водных биологических ресурсах во всех районах наблюдения, как минимум, на порядок ниже допустимых уровней активности.

Радиационная обстановка в морских водах и внутренних водоемах Калининградской области по радиологическим показателям может быть признана безопасной.

Список литературы

Атлас загрязнения Европы цезием после Чернобыльской аварии // Научн. руководитель Ю.А. Израэль – Люксембург: Люксембургское бюро для официальных изданий европейских сообществ; Комиссия европейских сообществ, 1998. 71 с.

Вода. Общие требования к отбору проб. ГОСТ 31861-2012. 35 с.

Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.1078-01. М.: ФГУП «Интерсэп», 2002. 168 с.

Доманов М.М. Распределение и динамика снижения концентрации ^{137}Cs в поверхностных водах Атлантического океана // Атомная энергия, 2015. Т. 118, № 3. С. 159–161.

Жамойда В.А., Сивков В.В., Рябчук Д.В. Литологическая карта дна Балтийского моря. М.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. – 1 с. // ФГБУ «ВСЕГЕИ». 2011. Электронный ресурс: ftp://ftp.vsegei.ru/N-34/N-34_LitK.pdf (дата обращения: 17. 02. 2017)

Карпушевский И.В. Эколого-биологические предпосылки формирования запаса трески восточной части Балтийского моря и её промысел // Автореф. дис. ... канд. биолог. наук: 19.12.03. Калининград, 2003. 24 с.

Методика определения содержания радионуклидов цезия в воде с помощью целлюлозо-неорганического сорбента «Фежел». Калининград: АтлантНИРО, 1995. 8 с.

Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. ГОСТ 17.1.5.01-80. 7 с.

Пивоваров Ю.П., Михалев В.П. Радиационная экология. М.: Академия, 2004. 240 с.

Радиационная обстановка в рыбопромысловых районах Мирового океана в 1986–1990, 1991–1995, 1996–2000, 2001, 2002 годах. Научно-информационные бюллетени. Калининград: АтлантНИРО, 1991–2003.

Радиационная обстановка в рыбопромысловых районах экономической зоны Российской Федерации в 2003–2007 годах Научно-информационные бюллетени. – Калининград: АтлантНИРО, 2004–2008.

Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2015 году / Ежегодник. – Обнинск: НПО «Тайфун», 2016. 348 с. // НПО «Тайфун». 2016. Электронный ресурс: http://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/e38/ezhegodnik_2015.pdf (дата обращения: 17. 02. 2017)

Сборник методик определения содержания радионуклидов в рыбном сырье, продукции и воде. М.: ВНИРО, 1989. 98 с.

Степанов А.В. [и др.]. Радиоактивное загрязнение Балтийского моря после аварии на ЧАЭС / Степанов А.В., Тишков В.П., Пантелеев Ю.А., Гаврилов В.М. // Труды Радиологического института им. В.Г. Хлопина, 2009. Т. XIV. С. 156–170.

Технический регламент Таможенного союза. О безопасности пищевой продукции ТР ТС 021/2011 – Евразийская экономическая комиссия, 2011. 242 с. // ЕАЭК, 2011. Электронный ресурс: <http://www.tsouz.ru/db/techreglam/Documents/TR%20TS%20PishevayaProd.pdf> (дата обращения: 15. 02. 2017).

Worldwide marine radioactivity studies (WOMARS). Radionuclide levels in oceans and seas. Final report of a coordinated research project. IAEA-TECDOC-1429 –Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005, 187 pp. // IAEA. 2005. Электронный ресурс: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE_1429_web.pdf. (дата обращения: 17. 02. 2017).

Ilus E. The Chernobyl accident and the Baltic Sea // Boreal Environmental Research 2007; Vol. 12. P. 1-10.

(HELCOM, 1995) Radioactivity in the Baltic Sea, 1984–1991 // Balt. Sea Environ. Proc.: Publ. HELCOM № 61.

(HELCOM, 2003) Radioactivity in the Baltic Sea, 1992–1998 // Balt. Sea Environ. Proc.: Publ. HELCOM № 85.

(HELCOM, 2006) Long-lived radionuclides in the seabed of the Baltic Sea // Report of the Sediment Baseline Study of HELCOM MORS-PRO in 2000–2005. Balt. Sea Environ. Proc. № 110.

(HELCOM, 2009) Radioactivity in the Baltic Sea, 1999–2006. HELCOM Thematic Assessment // Balt. Sea Environ. Proc. № 117.

(HELCOM, 2013) Thematic assessment of long-term changes in radioactivity in the Baltic Sea, 2007-2010 // Balt. Sea Environ. Proc. № 135.

(WOMARS, 2005) Worldwide marine radioactivity studies (WOMARS) – Radionuclide levels in oceans and seas Final report of a coordinated research project // IAEA-TECDOC-1429 – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005, 197 pp. // IAEA. 2005. Электронный ресурс: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE_1429_web.pdf (дата обращения: 17. 02. 2017).