

**ОЦЕНКА ЗАПАСОВ  
РАДИОНУКЛИДОВ  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$   
В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ  
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ШЕЛЬФА  
ЧЕРНОГО МОРЯ**

*Т.В. Чудиновских, А.И. Рябинин\**

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: chudtv@mail.ru

\* Морское отделение Украинского  
научно-исследовательского  
гидрометеорологического института  
г. Севастополь, ул. Советская, 61

*На основе результатов определения содержания радиоактивных изотопов цезия и стронция в донных отложениях Днепробугского лимана и северо-западного шельфа Черного моря, выполненных МГИ НАНУ и МО УкрНИГМИ в 1990 – 1994 г.г., проведены оценки запаса  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  в исследуемом районе.*

**Введение.** Одной из главных составляющих радиоактивного загрязнения Черного моря являются радионуклиды, накапливающиеся в толще донных отложений. Наибольший интерес представляют донные отложения северо-западного шельфа. Именно в этот район шельфа поступают воды Дуная, Днепра и других рек, водосборные бассейны ко-

торых оказались наиболее загрязненными черномыльскими продуктами. Необходимость в проведении исследований, балансовых оценок и прогнозирования загрязнения донных отложений при антропогенном воздействии на морской бассейн определяется тем, что они представляют собой наиболее медленный этап переноса радионуклидов в водной среде, т.е. фактически являются конечным депо биогеохимической миграции [1].

**Радионуклиды цезия, стронция и плутония в донных отложениях северо-западного шельфа Черного моря.** Измерения содержания долгоживущих искусственных радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях северо-западного шельфа были проведены в 1990-1994 гг. Для определения запасов этих радиоизотопов кроме собственных данных были использованы результаты исследований, проведенных в МО УкрНИГМИ. Данные о содержании техногенных радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{238,239}\text{Pu}$  в донных отложениях приведены в табл. 1 и на рис. 1. Анализ собранного материала натуральных наблюдений показал, что распределение этих радионуклидов в донных отложениях северо-западного шельфа неравномерно, и колебания по пространству и слоям весьма значительны.

Таблица 1

Содержание радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{238,239}\text{Pu}$  в донных отложениях северо-западного шельфа Черного моря

№	Координаты		Концентрация радионуклидов, Бк/кг сухой массы					
	северная широта	восточная долгота	номер пробы	толщина слоя, см	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{239}\text{Pu}$	$^{238}\text{Pu}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	46°19'	31°29'	96	0 – 10	7,4	13,0	88,8	13,7
2	46°34'	31°25'	98а	0 – 10	48,1	19,6	40,7	44,4
3	46°34'	31°25'	98б	0 – 10	33,3	32,9	-	-
4	46°35'	31°45'	100	0 – 5	32,2	} 20,4	129,5	66,6
				5 – 15	35,1			
				15 – 20	30,7			
				20 – 25	27,4			
				25 – 30	35,5			

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	46°25'	31°23'	106	0-6 6-13 13-20	55,5 37 21,8	85,1 14,8	59,2	35,5
6	46°35'	31°09'	108	0-6 6-12 12-18 18-25	118,4 111 159 15,2	56,6 40,0	407	40,7
7	46°25'	31°07'	110	0-10	20,4	1,9	125,8	20,3
8	46°25'	30°54'	111	0-6 6-11 11-16	170 12,2 25,5	37,4 7,8	129,5	85,1
9	46°20'	30°46'	112	0-5 5-10 10-15 15-20	88,8 96,2 59,2 7,4	61,4 21,1	203,5	85,1
10	46°20'	31°00'	113	0-9	11,8	24,8	100	10
11	46°10'	31°14'	115	0-5 5-10 10-16	92,5 74 159,1	127,3	7289	555
12	46°35'	31°30'	б/н	0-7 7-15 15-22 7-15	62,9 20,4 14,4	49,6 5,2	1147 777	325,6 310,8
13	44°45,2'	33°31,7'	5653	0-2,5 2,5-5 5-10	288 113 42			
14	45°00'	33°15'	5651	0-10 10-15	49 0			
15	44°50'	31°15'	5671	0-5 5-10 10-15	163 11 0			
16	46°10'	31°15'	117	0-5,5 5,5-11	13,5 0,27	4,0		
17	46°20'	30°45'	124	0-5 5-10 10-15 15-20 20-25 25-30	148,2 30,8 60,7 30,4 11,6 1,7	16,7 16,7		
18	46°20'	31°00'	125	0-5 5-10 10-15 15-20 20-25 25-30	63 16 18,2 17,2 6,6 17,8	8,7 1,8		

1	2	3	4	5	6	7	8	9
19	46°20'	31°15'	126	0-5	88,1	8,0		
				5-10	9,2			
				10-15	27,1			
				15-20	22,3	6,2		
				20-25	18			
				25-40	1,4			
20	46°35'	31°22,5'	132	0-5	58,4	12,4		
				5-10	41,9			
				10-15	22,7			
				15-20	21,4			
				20-25	22,7	13,1		
				25-30	23,2			
				30-40	18,4			
21	46°35'	31°35'	133	0-5	95,1	11,8		
22	46°35,7'	31°45'	134	0-5	145,6	12		
				5-10	147,9			
				10-15	142,3			
				15-20	147,8			
				20-25	159,9			
				25-30	134			
30-40	28,2	39,1						
23	46°33,2'	31°52'	135	0-5	66,2			
				5-10	5,5			
				10-15	21,5			
				15-20	28,2			
				20-25	96,3			
				25-30	94,7			
				30-40	36,4			
				40-50	59,8			
24	46°31,7'	32°05'	136	0-5	86,8	24		
				5-10	88,3			
				10-15	149,6			
				15-20	114,5			
				20-25	89,4	19,8		
				25-30	37			
				30-40	14,2			
				40-50	41			

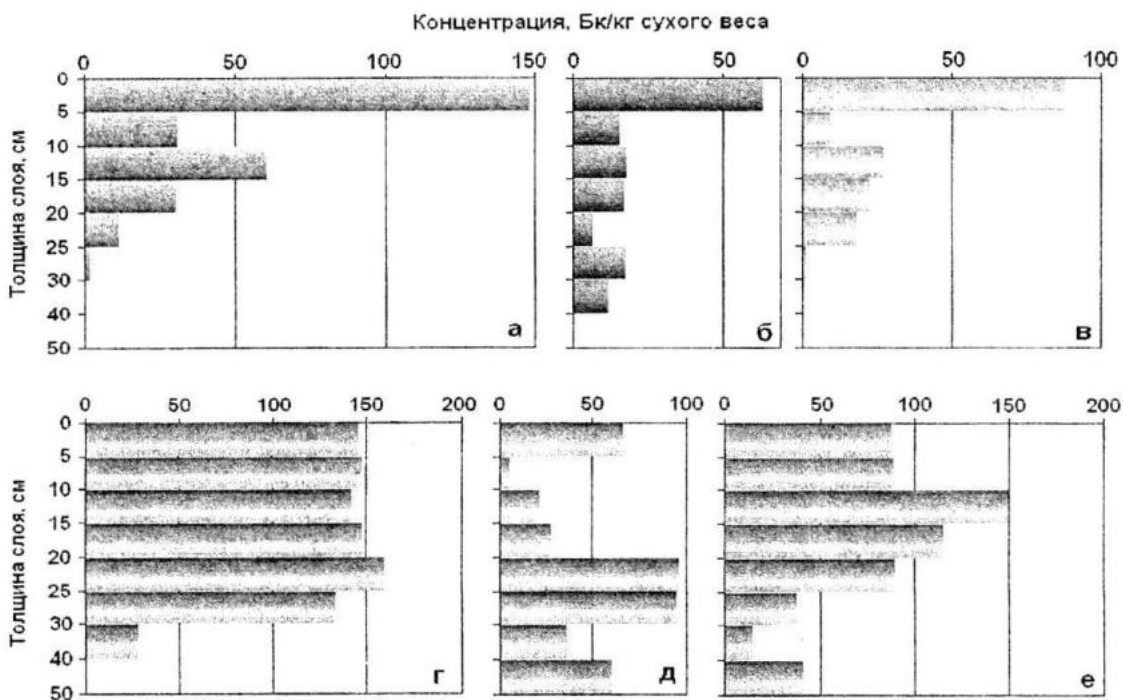
Максимальные концентрации  $^{137}\text{Cs}$  отмечены в приустьевых зонах Дуная и в краевой части шельфа. Самая высокая активность  $^{137}\text{Cs}$  была обнаружена на станции с координатами 44°45,2' N и 33°31,7' E. На станциях с координатами 46°10' N, 31°14' E и 46°35' N, 31°30' E были обнаружены высокие концентрации как изотопов плутония, так и  $^{90}\text{Sr}$ . Логично предположить, что в непосредственной близости от этих точек отбора

проб донных отложений находилась "горячая частица", содержащая частицы ядерного топлива и радиоактивные продукты, накопленные в процессе работы реактора.

В среднем в поверхностном слое донных отложений для абиссальной части концентрация  $^{137}\text{Cs}$  составляет  $4,4 \pm 2,7$  Бк/кг, а для шельфовой части —  $60 \pm 42$  Бк/кг. Для Днепровского лимана среднее значение концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в

верхнем слое донных отложений составляет 9,4 Бк/кг. Для  $^{90}\text{Sr}$  эти значения составляют соответственно  $31 \pm 21$  Бк/кг. В целом, как распределение радионуклидов, так и переслоенность в осадках кокколитовых, глинистых илов фазеолиновыми указывает на интенсивные процессы размывания и вторичного пересадения осадков, что естественно для шельфовой зоны с оползевыми явлениями и мутьевыми потоками.

Анализ вертикального распределения  $^{137}\text{Cs}$  в переслоенных осадках показывает, что максимальные концентрации радионуклида обнаруживаются не только в самом верхнем слое среза осадков, но и несколько ниже (рис.1). Можно предположить, что второй максимум обусловлен выпадениями непосредственно в период Чернобыльской аварии и датируется 1986 годом.



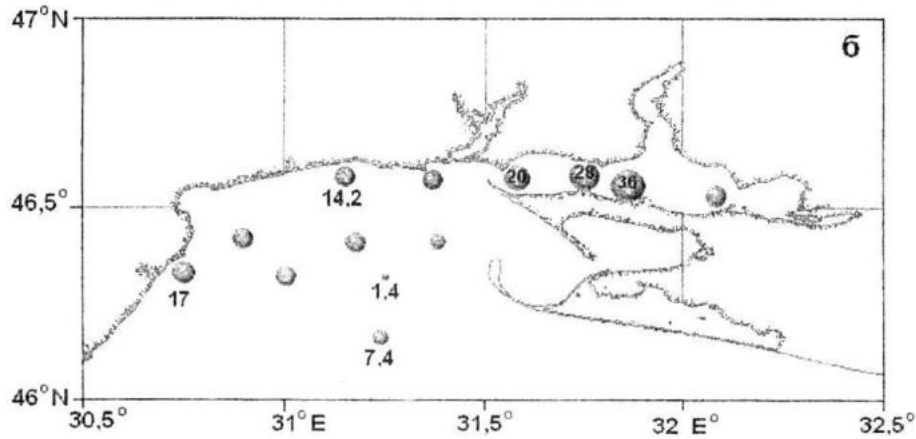
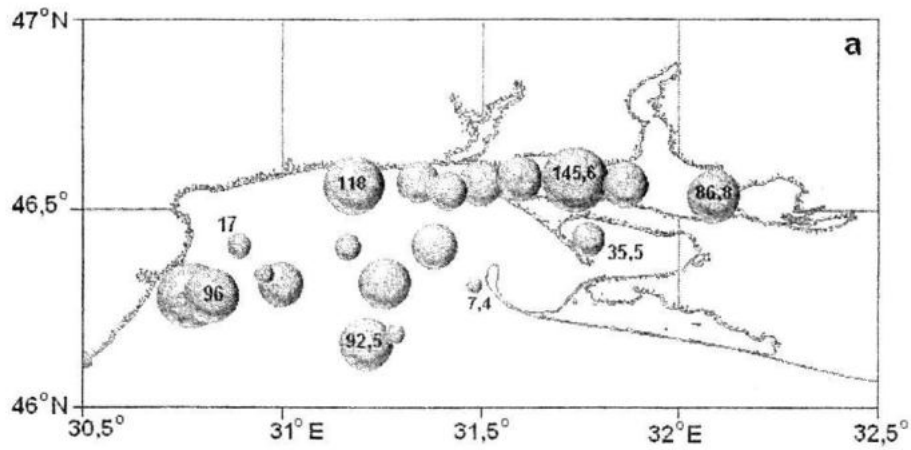
Р и с. 1. Вертикальное распределение концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях на станциях 124 – 126 (а – в) и 134 – 136 (г – е)

По данным работы [2] концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях северо-западного шельфа в 1986 г. составляли около 29 Бк/кг, а во взвешенном веществе 370 – 400 Бк/кг. На более мелководных станциях положение максимума концентрации соответствует горизонтам 2 – 3 см.

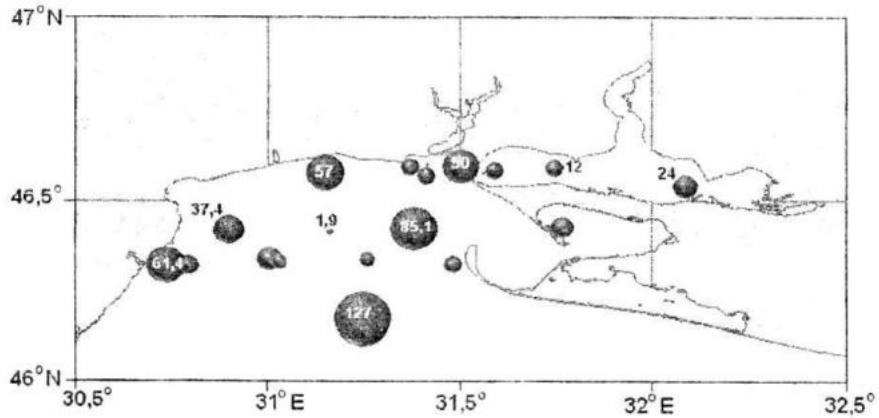
Распределение концентрации  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в донных отложениях Днепровского лимана также отличается большой неравномерностью. В поверхностном слое донных осадков (0 – 20 см) содержание  $^{137}\text{Cs}$  изменяется в пределах от 1 до 120 Бк/кг сухой массы (рис. 2). Средняя концентрация  $^{137}\text{Cs}$  составляет в слое 0 – 20 см – 32 Бк/кг; в слое 50 – 70 см – 14 Бк/кг; в слое 100 – 120 см – 35 Бк/кг.

Средние значения концентрации  $^{90}\text{Sr}$  в донных отложениях Днепровского лимана составляют в слое 0 – 20 см – 2,5 Бк/кг; в слое 50 – 70 см – 0,63 Бк/кг; в слое 100 – 120 см – 3,7 Бк/кг (рис. 3).

Наличие максимумов на вертикальных профилях концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях позволяет определить скорость осадконакопления в районе проводимых исследований. Исходя из результатов, приведенных на рис.1, скорости осадконакопления оцениваются величинами 12,1 мм/год для района, примыкающего к устью Дуная, и 1,95 мм/год континентальном склоне. Эти результаты хорошо согласуются с геологическими оценками осадконакопления в данном регионе [3].



Р и с. 2. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  (Бк/кг сух. веса) в слоях 0 – 20 см (а) и 30 – 40 см (б) донных отложений северо-западного шельфа Черного моря



Р и с. 3. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  (Бк/кг сух. веса) в верхнем 20-см слое донных отложений северо-западной части Черного моря

**Оценка запасов радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в донных отложениях Днепровского лимана.** Для оценки интегрального содержания радионуклидов в донных отложениях Днепровского лимана были приняты следующие исходные параметры:

- площадь донных отложений;
- толщина квазиоднородного, с точки зрения содержания радионуклидов, слоя донных отложений;
- объем донных отложений с фиксированной величиной накопления в нем радионуклидов.

Расчет площади донных отложений производился с допущением условия ее равновеликости с площадью зеркала водной поверхности Днепровского лимана.

Исследования, выполненные в 1985 и 1986 гг. в устьевой части Днепро-Бугского лимана, показали, что донные отложения представлены широко развитой мощной толщей илистых грунтов, слагающих основную часть современных и голоценовых лиманно-морских отложений [4]. Они относятся к илам глинистого, реже суглинистого состава. Рассматриваемые грунты находятся в жидкой текучей и текучепластичной

консистенции. Характеризуются большой сжимаемостью, медленным осаждением во времени. Естественная влажность илов верхнего слоя донных отложений достигает 200 – 500%. Объемная масса влажного грунта изменяется в пределах от 1,22 до 1,95 г/см<sup>3</sup>. величина пористости в поверхностном слое донных отложений ~ 90%.

Исходя из полученных оценок интегрального содержания <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr, были рассчитаны величины средней плотности распределения этих изотопов по слоям донных отложений Днепровского лимана. (табл. 2).

Таблица 2

Оценка запасов <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в донных отложениях Днепровского лимана

№	Слой, см	Период исследований	Интегральное содержание, 10 <sup>12</sup> Бк		Плотность распределения, 10 <sup>11</sup> Бк/км <sup>2</sup>	
			<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr
1	0 – 10	август, 1993	8,8	1,1	1,19	0,15
2	0 – 20	июль, 1993	14,0	1,18	1,89	0,16
3	10 – 20	август, 1993	9,6	0,65	1,30	0,088
4	0 – 20	август, 1993	18,0	1,75	2,43	0,24
5	50 – 70	июль, 1993	7,0	0,3	0,95	0,041
6	100 – 120	июль, 1993	17,0	1,8	2,3	0,24

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что запас <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в донных отложениях Днепро-

Бугского лимана на порядок превышает их запас в отложениях северо-западного шельфа [5].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gavshin V.M., Lapuchov S.V. & Saraev S.V. Geochemistry of the lithogenesis under hydrogen sulphide conditions. / The Black Sea. – Novosibirsk: Nauka. – 1988. – P.194.
2. Kulebakina L.G. and Polikarpov G.G. Radioecological Monitoring of the Black Sea Following the Chernobyl NPS Accident. / Proc. Seminar on Comparative Assessment of the Environmental Impact of Radionuclides Released during Three Major Nuclear Accidents: Kyshtym, Windscale, Chernobyl. Luxembourg, 1 – 5 Oct. 1990. – Luxembourg, Report EUR 13574. – V. II. – 1991. – P. 607 – 648.
3. Neiheisel J., McDaniel W., Panteleyev G. Sediment parameters of northwest Black Sea shelf and slope: Implications for transport of heavy metals and radionuclides //Chem. Ecology. – 1992. – 6. – P. 117 – 131.
4. Hay B.J., Arthur M.A., Dean W.E, et.al. Sediment deposition in the Late-Holocene abyssal Black Sea with climatic and chronological implications. //Deep Sea Reseach. – 1991. – V. 38(2A). – P. S1211 – S1236.
5. Egorov V.N., Polinec P.P., Polikarpov G.G., et. al. <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs in the Black Sea after the Chernobyl NPP accident: inventories, balance and tracer applications. //J. of Environment Radioactivity. – 1999. – V. 43. – P.137 – 155.