

В. Е. Хан¹, Б. И. Огородников^{1,2}, А. К. Калиновский¹, В. А. Краснов¹

¹Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина

²«Физико-химический институт им. Л. Я. Карпова», пер. Обуха, д. 3-1/12, стр. 6, Москва, 105064, Россия

КОНТРОЛЬ ВЫБРОСОВ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ИЗ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» В 2012 г.

Представлены результаты контроля выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2012 г. Максимальная скорость неорганизованного выброса бета-излучающих продуктов Чернобыльской аварии наблюдалась в зимний период и достигала 1,6 МБк/сут. Концентрации долгоживущих бета-излучающих аэрозолей, поступавших в атмосферу через систему «Байпас», находились обычно в диапазоне 0,05 – 10 Бк/м³ (максимальная концентрация равнялась 13 Бк/м³). Их носителями в большинстве случаев были частицы с АМАД 1 – 6 мкм. Концентрации ²¹²Pb (дочернего продукта торона) составляли, как правило, 1 – 5 Бк/м³. Они обычно имели АМАД 0,1 – 0,3 мкм. Объемные активности и дисперсность аэрозолей в выбросах из объекта «Укрытие» остаются практически стабильными на протяжении последних девяти лет. Показано, что на протяжении 2004 – 2012 гг. соотношение концентраций короткоживущих дочерних продуктов радона и ²¹²Pb в воздушном потоке, выбрасываемом в атмосферу через систему «Байпас», остается постоянным и близко к 4.

Ключевые слова: объект «Укрытие», аэрозоли, объемная активность, АМАД.

Введение

В 2012 г. был продолжен систематический контроль количества и состава радиоактивных аэрозолей, выбрасываемых из объекта «Укрытие» [1]. Начатые более 20 лет назад наблюдения остаются важным источником экспериментальных данных, необходимых как для оценки влияния объекта «Укрытие» на окружающую среду, так и решения прикладных задач по проектированию и созданию нового безопасного конфайнмента «Арка».

Результаты контроля выброса радиоактивных аэрозолей через технологические отверстия и неплотности легкой кровли объекта «Укрытие»

Для оценки неорганизованного выброса [2] радиоактивных аэрозолей через технологические отверстия и неплотности легкой кровли применяли аккумулялирующие планшеты из марли. Как и в предыдущие годы, планшеты устанавливали над технологическими люками № 7 (ряд И⁺¹⁴⁰⁰, ось 46⁺¹³⁰⁰), 10 (ряд Л⁺⁷⁰⁰, ось 46⁺¹³⁰⁰), 13 (ряд К⁺⁷⁰⁰, ось 48⁻⁷⁰⁰) и 15 (ряд Л⁺¹³⁰⁰, ось 48⁻⁵⁰⁰). Для удержания аэрозолей марлю предварительно пропитывали нефтепродуктами (литол-24 и масло-разбавитель).

Суммарная площадь отверстий на верхних отметках объекта «Укрытие» при расчете интегрального выброса принималась, как и в предыдущие годы, равной 120 м² [1, 3].

Неорганизованный выброс альфа- и бета-активности с аэрозолями через отверстия и проемы на верхних отметках объекта «Укрытие» с начала 2012 г. по 31 декабря составил 3,1 и 240 МБк соответственно (табл. 1). Сумма альфа-излучателей включает изотопы ²⁴⁰Pu, ²³⁹Pu, ²³⁸Pu, ²⁴¹Am, а сумма бета-излучателей - изотопы ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr + ⁹⁰Y, ²⁴¹Pu. Активность изотопов плутония определялась расчетным методом с использованием коэффициента пропорциональности между плутонием и ²⁴¹Am для базового состава облученного топлива 4-го энергоблока [4]. Активность ⁹⁰Sr + ⁹⁰Y также определялась расчетным методом по активности ¹³⁷Cs с использованием коэффициента пропорциональности, равного 1,7 [4, 5].

Максимальная скорость выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в отчетный период пришлась, как и в предыдущие годы, на холодный период года и достигала 1,6 МБк/сут. Повышение скорости выброса в указанный период обусловлено значительной разностью температур внутри и снаружи объекта. В это время температура внутри объекта выше, чем в окружающей среде, что способствует выходу воздушных масс наружу. В сочетании с резкими порывами ветра это приводит к образованию условий для выноса радиоактивных частиц из объекта «Укрытие». В первую очередь это относится к нижним отметкам блока, где сосредоточены основные запасы нефиксированной радиоактивной пыли. Подобное сезонное повышение скорости выброса радиоактивных аэрозолей происходило и ранее (рис. 1). При этом наблюдается тенденция к снижению выброса радио-

© В. Е. Хан, Б. И. Огородников, А. К. Калиновский, В. А. Краснов, 2013

Таблица 1. Оценка выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2012 г.

Экспозиция планшетов		Верхний предел величины аэрозольного выброса, МБк			
		альфа-излучатели*		бета-излучатели**	
Начало	Длительность, сут	за сутки	с начала года	за сутки	с начала года
27.12.11	70	0,013	0,85	0,94	62
06.03	29	0,019	1,4	1,6	108
04.04	43	0,0066	1,7	0,65	137
17.05	20	0,0048	1,8	0,36	144
06.06	28	0,0032	1,9	0,20	149
03.07	35	0,0019	2,0	0,15	155
08.08	28	0,014	2,3	0,95	181
05.09	28	0,0047	2,5	0,39	192
03.10	35	0,0073	2,7	0,61	213
07.11	28	0,005	2,9	0,39	224
05.12	26	0,010	3,1	0,76	244
Среднее		0,0081	–	0,64	–

* Сумма альфа-излучателей включает изотопы ^{240}Pu , ^{239}Pu , ^{238}Pu , ^{241}Am .

** Сумма бета-излучателей включает изотопы ^{137}Cs , ^{90}Sr + ^{90}Y , ^{241}Pu .

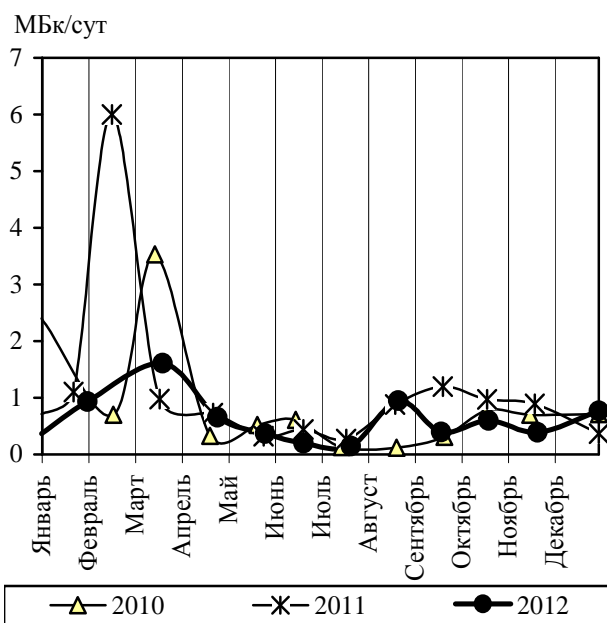


Рис. 1. Динамика неорганизованного выброса бета-активных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2010 – 2012 гг.

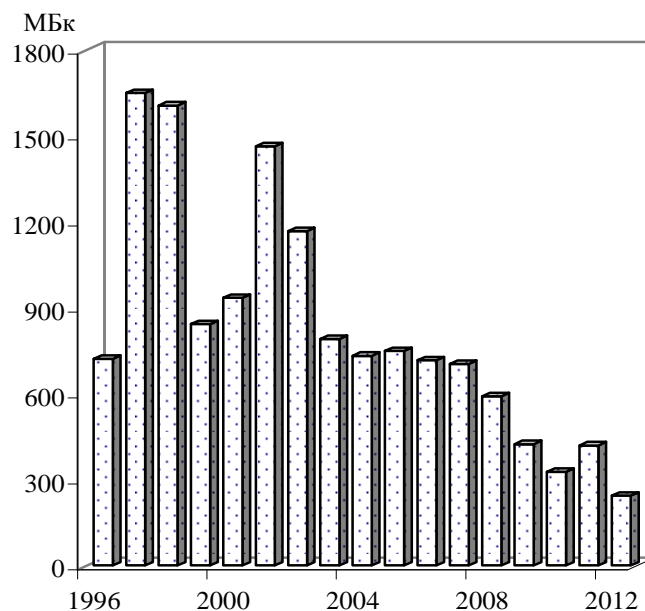


Рис. 2. Динамика неорганизованного выброса бета-активных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 1996 – 2012 гг.

активных аэрозолей в зимний период: в 2007 г. он составил 570 МБк; в 2008 г. – 470 МБк; в 2009 – 340 МБк; в 2010 – 360 МБк; в 2011 – 290 МБк; в 2012 – 180 МБк.

Повышение величины неорганизованного выброса в августе 2012 г. (27 МБк) обусловлено длительными повышенными порывами ветра до 14 м/с во второй половине месяца. Для сравнения выброс в июне составил 5,5 МБк, а в июле - 5,1 МБк.

На рис. 2 представлена динамика неорганизованного выброса радиоактивных аэрозолей через щели в кровле объекта «Укрытие» в период 1996 – 2012 гг. Как видно из рисунка, в 1998 г. наблюдалось возрастание активности, что обусловлено проведением работ по укреплению вентиляционной трубы. Повышение аэрозольной активности в 2001 г. объясняется сочетанием неблагоприятных метеоусловий (сухое жаркое и ветреное лето) с проведением ремонтных работ на легкой кровле. В последующие годы наблюдалось снижение неорганизованного выброса радиоактивных аэрозолей через отверстия и проемы на верхних отметках объекта «Укрытие». Повышение выброса в 2011 г. по сравнению с 2010 г. обусловлено как повышенным выбросом в зимний период, так и проведением работ по обустройству и монтажу новой вентиляционной трубы. Эти работы включали демонтаж участка

крыши взрывным способом с последующим долблением и резкой бетона. Сотрясения от этих работ передавались на конструкции подкровельного пространства и приводили к генерации аэрозолей. Это внесло дополнительный вклад в общую величину неорганизованного выброса аэрозолей. Неорганизованный выброс радиоаэрозолей в 2012 г. был наименьшим за все годы наблюдений.

Результаты контроля выброса радиоактивных аэрозолей в системе «Байпас»

Концентрации радиоактивных аэрозолей

В 2012 г. были продолжены начатые в 2002 г. наблюдения за концентрациями и дисперсным составом радиоактивных аэрозолей, поступающих из центрального зала объекта «Укрытие» в атмосферу через систему «Байпас» и высотную вентиляционную трубу ВТ-2 («организованный» выброс) [2]. Пробы аэрозолей отбирали через люк в воздуховоде системы «Байпас», имеющийся в помещении 2016/2 (3-ий блок ЧАЭС, высотная отметка +43 м). Методики отбора проб с использованием пакетов трехслойных волокнистых фильтров Петрянова и измерения бета-активности аэрозолей изложены в работе [2].

В табл. 2 представлены обобщенные данные концентраций и дисперсного состава радиоактивных аэрозолей, а также метеоусловий. Всего проанализировано 68 проб.

Как следует из табл. 2 и рис. 3 концентрация суммы долгоживущих бета-излучающих нуклидов ($\Sigma\beta$)-продуктов Чернобыльской аварии, представленных $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, ^{137}Cs и ^{241}Pu , изменялась от 0,2 до 13 Бк/м³. Наиболее часто (90 % проб) величина $\Sigma\beta$ находилась в диапазоне 0,5 – 10 Бк/м³. Лишь в одной пробе концентрация превышала 10 Бк/м³. В предыдущие годы таких проб было больше, например в 2008 г. – девять, в 2010 г. – восемь, в 2011 г. – пять.

Максимальная концентрация 13 Бк/м³ была зафиксирована 11 сентября. Активности менее 0,5 Бк/м³ были зарегистрированы в семи пробах. Минимальная величина равнялась 0,2 Бк/м³, что сопоставимо с предыдущим годом (0,22 Бк/м³).

Полученные результаты близки к ранее полученным данным [1, 2, 6 - 10], когда внутри объекта «Укрытие» не проводили работ, сопровождавшихся значительной генерацией аэрозолей. Кроме того, были мягкие погодные условия. Так, по данным метеостанции «Чернобыль» в 2012 г. только в семи случаях отбор проб происходил при максимальных порывах ветра свыше 9 м/с. При больших скоростях ветра концентрации аэрозолей-продуктов Чернобыльской аварии в выбросах через систему «Байпас» существенно увеличиваются [2, 11]. Снижению пылеподъема способствовала также полимерная пленка, образовавшаяся на развале центрального зала за несколько лет работы системы пылеподавления [12].

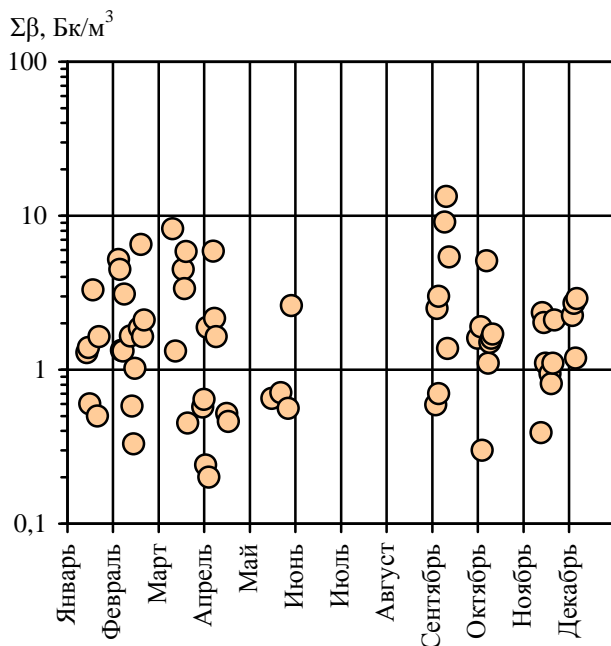


Рис. 3. Объемная активность аэрозолей-носителей суммы бета-излучающих нуклидов в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2012 г.

В пяти пробах, отобранных в первом квартале 2012 г., при гамма-спектрометрии на полупроводниковом детекторе были одновременно идентифицированы ^{137}Cs и ^{241}Am . Отношения концентраций $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$ варьировали от 25 до 108 при среднем значении 50. Это практически совпало с тем, что наблюдалось в предыдущий год.

В большинстве проб, отобранных из системы «Байпас», отношение концентраций ^{137}Cs и $\Sigma\beta$ находилось в диапазоне 0,2 – 0,6 (см. табл. 2), что уже было зарегистрировано ранее [1, 2, 6 - 10]. Среднее арифметическое значение $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta = 0,42$. Аналогичная величина была получена при исследовании выбросов через систему «Байпас» в 2004 – 2011 гг. Таким образом, в составе бета-активных аэрозолей-продуктов Чернобыльской аварии, выбрасываемых в атмосферу через систему «Байпас», более трети приходится на ^{137}Cs .

Специальное наблюдение за радиоактивными аэрозолями в системе «Байпас» было проведено 6 сентября 2012 г. В этот день в соответствии с планом-графиком состоялось

Таблица 2. Данные мониторинга радиоактивных аэрозолей в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2012 г.

Дата отбора	Концентрация, Бк/м ³					Σβ		ДПР*		Условия отбора	Ветер		
	¹³⁷ Cs	Σβ	ДПР	²¹² Pb	¹³⁷ Cs / Σβ	АМАД, мкм	σ	АМАД, мкм	σ		средний, м/с	порывы, м/с	направ., град
16.01	0,86	1,3	6,0	1,8	0,67	3,5	1,4	0,31	2,4		1	3,5	335
17.01	0,62	1,4	11	1,2	0,45	5,5	3,4	0,36	2,1	штиль	1,0	3,0	360
18.01	0,35	0,60	7,3	1,3	0,58	1,0	2,2	0,26	5,8	штиль	0	2,0	0
19.01	-	-	25	3,3	-	1,6	5,6	-	-		2,5	5,5	150
20.01	1,2	3,3	7,1	2,5	0,35	2,1	7,4	0,26	4,1	метель	4,5	12,0	150
23.01	0,2	0,50	14	2,0	0,44	2,0	6,0	0,08	14		1,5	4,5	110
24.01	0,54	1,6	12	2,3	0,33	0,7	2,0	0,24	2,2		2,0	5,5	120
06.02	2,8	5,2	12	3,1	0,53	5,6	2,6	0,14	5,1	штиль	0,5	5	0
07.02	0,4	4,5	12	1,4	0,10	3,9	2,3	0,31	3,0		2,5	7,5	105
08.02	0,8	1,3	10	1,2	0,58	2,9	2,8	0,28	1,5		1,0	3,0	345
09.02	0,6	1,3	9,1	1,6	0,48	3,7	4,8	0,19	3,8	штиль	1,5	4,0	355
10.02	2,0	3,1	10	1,0	0,66	5,0	2,0	0,24	2,1		1,5	5,0	350
14.02	0,65	1,7	8,1	1,7	0,39	2,6	2,5	0,25	1,2		2,0	5,0	25
15.02	0,22	0,58	11	3,2	0,38	4,9	4,5	0,18	4,0		2,5	5,5	125
16.02	0,10	0,33	14	2,7	0,30	1,9	4,1	0,17	4,7	штиль	1,0	3,5	65
17.02	0,50	1,0	9,6	2,4	0,49	1,8	1,6	0,20	2,2	штиль	0,5	3,5	330
20.02	0,75	1,9	15	2,9	0,40	2,5	2,0	0,04	3,6		1,5	4,5	170
21.02	2,1	6,5	11	3,4	0,33	4,2	2,2	0,16	2,6	штиль	1,5	3,5	245
22.02	0,46	1,6	13	4,0	0,28	6,9	2,5	0,12	4,3		2,0	6	255
23.02	0,58	2,1	2,2	0,54	0,28	3,6	2,4	0,38	1,8		2,5	7,5	230
13.03	2,6	8,2	1,2	0,46	0,31	3,3	2,5	0,28	1,4	ветрено	3,5	10	270
15.03	0,49	1,3	7,0	2,6	0,37	1,4	1,5	0,14	3,8	ветрено	3,0	9,5	310
20.03	1,3	4,5	10	3,9	0,30	2,0	1,7	0,14	2,0	ветрено	5,0	12	300
21.03	0,70	3,4	4,4	1,3	0,21	3,4	2,2	0,15	1,5		2,0	8,5	270
22.03	2,5	5,8	5,5	1,8	0,42	5,3	2,0	0,13	3,8		1,5	4,5	315
23.03	0,16	0,45	3,2	1,2	0,36	4,1	3,4	0,22	2,0	ветрено	3,5	8,5	285
02.04	0,18	0,57	3,1	1,1	0,32	5,2	1,8	0,19	2,7	ветрено	5,0	14	225
03.04	-	0,64	7,6	2,7	-	1,9	5,0	0,12	4,4		2,5	6	245
04.04	0,08	0,24	3,3	1,0	0,32	> 8	8	0,03	10,8		3,0	7,5	125
05.04	0,69	1,9	5,8	2,2	0,37	5,3	2,5	0,21	1,2		2,0	6,5	300
06.04	0,09	0,20	8,5	2,5	0,47	-	-	0,19	3,0		2,0	4,5	50
09.04	2,5	5,9	2,7	4,7	0,42	5,4	2,1	0,09	8,4	ветрено	3,5	10,5	320
10.04	1,2	2,2	2,2	0,82	0,55	4,7	2,9	0,19	2,2		2,0	5,5	10
11.04	0,60	1,6	8,3	3,4	0,38	1,6	2,2	0,18	1,5	штиль	0,5	2,5	65
18.04	0,20	0,52	6,5	3,8	0,40	2,0	5,3	0,24	2,1		2,0	5,0	10
19.04	0,23	0,46	3,4	1,2	0,50	6,2	3,2	0,24	3,7		2,0	7,0	20
18.05	0,43	0,65	6,4	2,3	0,66	5,3	4,4	0,2	2,3	штиль			
24.05	0,53	0,71	6,6	1,9	0,75	2,3	4,7	0,07	>8				
29.05	0,43	0,56	6,4	1,2	0,77	3,4	1,9	0,14	5,1	штиль	0,5	3,0	105
31.05	0,70	2,6	9,8	4,10	0,27	4,3	6,2	0,29	1,4		1,5	5,0	285
04.09	0,23	0,59	18	6,3	0,39	1,85	2,1	0,13	3,8	штиль	0	2,0	0
05.09	0,92	2,5	4,8	1,5	0,37	3,4	2,0	0,24	1,6	штиль	0,5	3	250
06.09	0,36	0,70	13	3,6	0,51	5,6	2,6	0,24	2,1	штиль	0,5	4,0	240
06.09	0,80	3,0	11	3,5	0,27	3,0	3,4	0,19	3,4	штиль	0,5	4,0	240
10.09	2,8	9,1	9,2	3,6	0,30	1,6	2,2	0,19	2,8		1,0	4,5	255
11.09	3,6	13	7,0	1,6	0,27	2,1	1,8	0,24	3,7		1,5	3,5	185
12.09	0,7	1,4	8,0	1,8	0,54	3,0	2,3	0,18	4,7		2,0	4,5	185
13.09	1,6	5,4	23	3,3	0,29	5,0	2,4	0,19	2,2		1,0	3,5	90
02.10	0,59	1,6	10	2,7	0,37	1,8	3,2	0,07	8,4		2,0	7,0	130
04.10	0,95	1,90	20	7,8	0,50	3,1	2,6	0,11	6		1,0	3,0	285
05.10	<0,04	0,30	8,0	1,1	-	0,87	1,4	0,22	3,9		1,0	4,5	280
08.10	2,3	5,1	-	-	0,46	-	-	-	-		2,0	5,5	320
09.10	0,44	1,1	7,5	1,6	0,40	3,8	5,0	0,23	2,9		1,5	5,0	270
10.10	0,40	1,5	3,4	0,87	0,27	1,1	2,0	0,25	6,8		2,0	8,0	255

Продолжение табл. 2

Дата отбора	Концентрация, Бк/м ³				$\frac{^{137}\text{Cs}}{\Sigma\beta}$	$\Sigma\beta$		ДПР*		Условия отбора	Ветер		
	¹³⁷ Cs	$\Sigma\beta$	ДПР	²¹² Pb		АМАД, мкм	σ	АМАД, мкм	σ		средний, м/с	порывы, м/с	направ., град
11.10	1,0	1,6	8,0	1,2	0,65	> 8	2,0	0,20	4,0		1,0	4,0	180
12.10	0,60	1,7	4,8	1,9	0,35	-	-	0,24	3,6		1,0	3,5	280
13.11	0,18	0,4	8,2	1,5	0,46	1,4	2,2	0,24	1,2	туман	1,5	4,0	280
14.11	0,71	2,3	4,9	1,6	0,30	> 8	2,2	0,63	4,0		2,0	4,5	290
15.11	0,94	2,0	4,0	1,4	0,47	5,6	2,1	0,20	2,3		2,0	6,5	270
16.11	0,66	1,1	6,5	1,9	0,60	4,0	2,3	0,31	3,4		1,5	3,5	260
19.11	0,48	0,94	14	3,3	0,51	3,5	2,4	0,25	2,0	туман, штиль	1,0	4,5	200
20.11	0,32	0,8	13	2,5	0,40	2,9	1,9	0,16	7,4	туман, штиль	1,5	3,5	90
21.11	0,78	1,1	13,4	3,3	0,71	2,7	1,9	0,19	3,7		1,0	4,0	90
22.11	1,2	2,1	8,6	2,1	0,57	6,0	2,0	0,21	4,3	штиль	2,5	5,0	110
04.12	0,41	2,3	7,1	1,0	0,18	4,9	2,1	0,12	5,9				
05.12	0,63	2,7	6,5	1,1	0,23	6,5	1,6	0,30	3,5				
06.12	0,82	1,2	9,0	1,9	0,69	7,2	3,1	0,29	2,8				
07.12	1,22	2,9	8,0	1,7	0,42	5,1	2,0	0,19	4,0				

* Дочерние продукты радона и торона.

включение модернизированной системы пылеподавления (МСПП), расположенной над развалом центрального зала и по его периферии [12]. Стояла ясная штилевая погода. Средняя скорость ветра по данным метеостанции «Чернобыль» не превышала 0,5 м/с. Температура воздуха составляла 18 – 20 °С.

На распыливающие форсунки через каждый из трех коллекторов было подано по 5 т локализирующей смеси и по 5 т промывочной жидкости. Работа коллекторов происходила по следующему графику: № 2: 10 ч 23 мин – 10 ч 35 мин, № 1: 10 ч 53 мин – 11 ч 12 мин, № 3: 12 ч 50 мин – 13 ч 15 мин. Первая проба аэрозолей была отобрана с 9 ч 03 мин до 10 ч 20 мин, т.е. перед включением МСПП. Она характеризовала фоновое состояние воздушной среды. Вторую пробу отбирали с 10 ч 25 мин до 12²⁰, т.е. во время работы коллекторов № 1 и 2. Результаты измерений проб представлены в табл. 2. Из полученных данных следует, что за время сеансов МСПП концентрация ¹³⁷Cs относительно фоновой пробы увеличилась примерно вдвое, а $\Sigma\beta$ – в четыре раза. Концентрации дочерних

продуктов радона и ²¹²Pb практически не изменились. Таким образом, работа форсунок МСПП незначительно отразилась на аэрозольной обстановке в подкровельном пространстве объекта «Укрытие». Зафиксированные концентрации радиоактивных аэрозолей находились на уровне флуктуаций 2012 г.

Концентрации аэрозолей-носителей дочерних продуктов радона и торона, как и в предыдущие годы, оставались достаточно стабильными: минимальные и максимальные значения отличались от среднего уровня, как правило, не более чем в два-три раза. Это подтверждает ранее сделанный вывод, что генерация аэрозолей Чернобыльского генезиса и продуктов распада естественных благородных газов происходит из разных источников и по различающимся причинам.

Из табл. 2 и рис. 4 следует, что в большинстве случаев концентрации ²¹²Pb (дочернего продукта торона с периодом полураспада 10,6 ч) находились в диапазоне 1 – 5 Бк/м³. Объемные активности свыше 5 Бк/м³ были зарегистрированы лишь при двух пробоотборах. Максимальная кон-

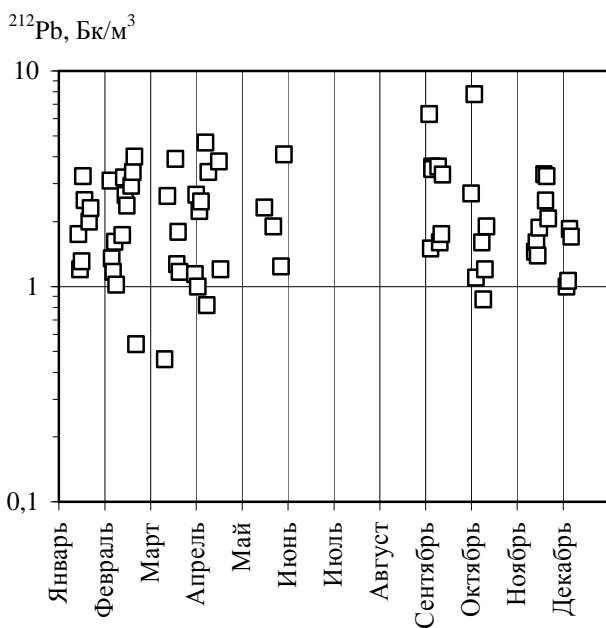


Рис. 4. Объемная активность ²¹²Pb в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2012 г.

центрация ^{212}Pb составила $7,8 \text{ Бк/м}^3$.

Концентрации ^{212}Pb менее 1 Бк/м^3 зарегистрированы в четырех случаях. Минимальная величина 13 марта составила $0,46 \text{ Бк/м}^3$.

К сожалению, в 2012 г. не удалось наблюдения за влиянием тумана на концентрацию дочерних продуктов радона и торона, поскольку лишь при трех из 68 пробоотборов территория ЧАЭС была закрыта туманом (13, 19 и 20 ноября).

Сопоставление данных 2012 г. и девяти предыдущих лет показывает, что содержание ^{212}Pb в выбросах через систему «Байпас» остается практически неизменным [1, 2, 6 – 11, 13, 14].

Соотношение концентраций ^{212}Pb и суммы дочерних продуктов радона и торона

Многолетние наблюдения показали, что через систему «Байпас» вместе с аэрозолями-носителями продуктов аварии 4-го блока ЧАЭС в атмосферу поступает большое количество дочерних продуктов радона (^{222}Rn) и торона (^{220}Rn). В объекте «Укрытие» радон и его дочерние продукты (ДПР) занимают особое место. Их происхождение не связано с разрушением ядерного реактора и с радиоактивными продуктами Чернобыльской аварии, поскольку радий (их материнское вещество) выводится из процесса изготовления ядерного топлива на стадии переработки урановой руды. Главные источники естественных благородных радиоактивных газов в объекте «Укрытие» – строительные конструкции, особенно бетон с гравием, и почва, в которую заглублены фундамент и нижние помещения энергоблока.

При альфа-распаде радона возникают атомы полония (^{218}Po , $T_{1/2} = 3,05$ мин), а при его альфа-распаде – атомы свинца (^{214}Pb , $T_{1/2} = 26,8$ мин) и при последующих бета-распадах – висмута (^{214}Bi , $T_{1/2} = 19,9$ мин) и полония (^{214}Po , $T_{1/2} = 1,6 \cdot 10^{-4}$ с). Эффективный период полураспада короткоживущих дочерних продуктов радона составляет около 32 мин. При альфа-распаде торона образуются атомы полония (^{216}Po , $T_{1/2} = 0,15$ с), далее при его альфа-распаде – атомы свинца (^{212}Pb , $T_{1/2} = 10,6$ ч) и при последующих бета-распадах – висмута (^{212}Bi , $T_{1/2} = 60,55$ мин) и полония (^{212}Po , $T_{1/2} = 3,05 \cdot 10^{-7}$ с), а при альфа-распаде – таллия (^{208}Tl , $T_{1/2} = 3,07$ мин). Эффективный период полураспада короткоживущих дочерних продуктов торона составляет около 11 ч. Все бета-распады сопровождаются гамма-излучением. Образующиеся атомы металлов вследствие высокой подвижности соединяются в воздухе с молекулами газов и парами воды. Затем эти кластеры оседают на атмосферных ядрах конденсации с образованием устойчивых аэрозольных систем с размерами частиц $0,1 - 0,3 \text{ мкм}$ [15, 16]. Таким образом, короткоживущие ДПР влияют на радиационную обстановку в помещениях объекта «Укрытие» и детектирование аэрозолей-продуктов Чернобыльской аварии.

При отборе проб внутри объекта «Укрытие» и определении $\Sigma\beta$ фильтры приходится выдерживать около 6 ч, чтобы примерно в 1000 раз уменьшилось содержание дочерних продуктов радона, и около 4 сут, чтобы во столько же раз изменилось количество дочерних продуктов торона.

При определении концентрации ДПР воздух в объекте «Укрытие» прокачивали через фильтры около 2 ч и спустя 10 – 20 мин начинали измерять на бета-радиометре КРК-1. В течение часа проводили 6 – 10 последовательных измерений, чтобы получить кривую распада короткоживущих ДПР. Повторное измерение фильтра выполняли через 4 сут, т.е. после практически полного распада как дочерних продуктов радона, так и торона. Таким образом получали данные о концентрации короткоживущих дочерних продуктов радона, ^{212}Pb и $\Sigma\beta$ (см. табл. 2).

В результате многолетних наблюдений в помещениях объекта «Укрытие» и системе «Байпас» установлено, что концентрации радона и его дочерних продуктов могут колебаться от единиц до сотен Бк/м^3 [17]. При этом, как показала статистическая обработка измерений проб из системы «Байпас» за 2003 – 2010 гг., какого-либо временного тренда концентрации ДПР не наблюдается [18].

Уже при первых пробоотборах, выполненных в 2003 г., была замечена некоторая связь между дочерними продуктам радона и торона. Со следующего года были начаты целенаправленные измерения. При этом выдерживалась неизменная методика отбора проб и измерений: длительность прокачки воздуха около 2 ч, расход воздуха 100 л/мин , трехслойные пакеты фильтров Петрянова, бета-радиометр КРК-1 с периодической проверкой эффективности по источнику $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$. В течение 2004 – 2012 гг. было отобрано и обработано около 800 проб. Полученные соотношения между концентрациями ДПР и ^{212}Pb приведены на рис. 5 и 6. Из них следует, что концентрации ДПР и ^{212}Pb варьировали в широких диапазонах. Максимальная концентрация ДПР достигала 44 и ^{212}Pb – 9 Бк/м^3 . Средняя величина соотношения концентраций ДПР/ ^{212}Pb оказалась близка к 4. Никаких временных или сезонных закономерностей не выявлено.

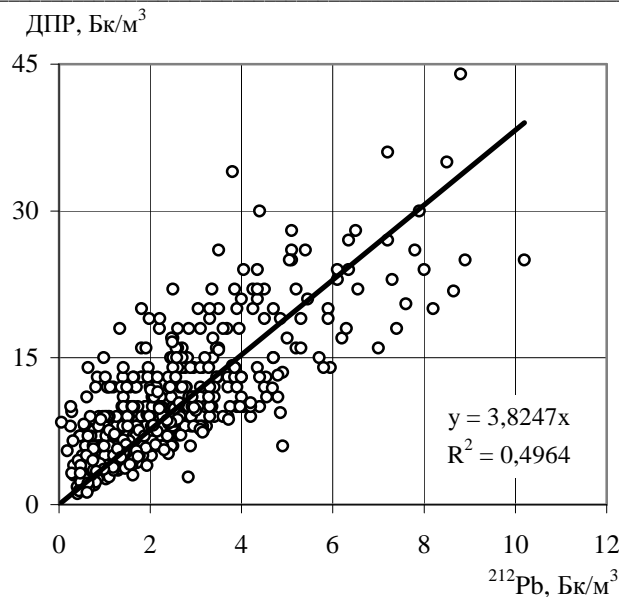


Рис. 5. Корреляция концентраций ДПР и ²¹²Pb в 2003 - 2011 гг.

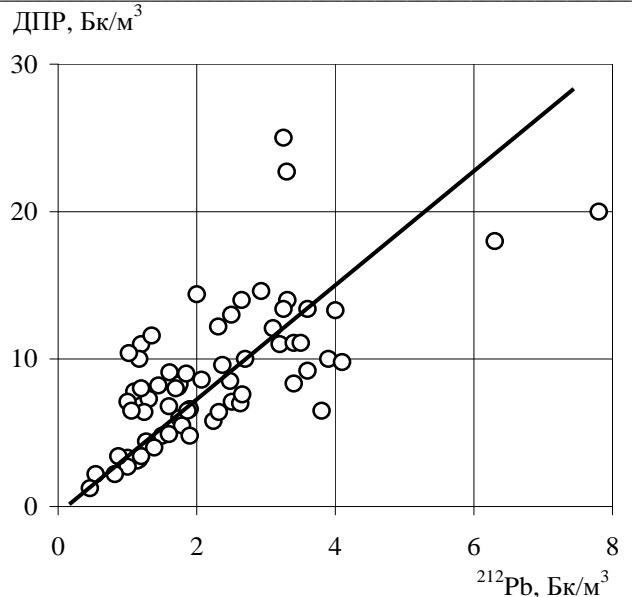


Рис. 6. Корреляция концентраций ДПР и ²¹²Pb в 2012 г.

Следует отметить, что в середине 2007 г. была проведена модернизация системы «Байпас»: для выравнивания потока вытяжной короб диаметром 1,5 м в помещении 4004/2 удлинени на 12 м. В связи с этим место размещения воздуходувки в этом помещении пришлось переместить на 2 м ниже в помещение 2016/2 и соорудить канал с изокинетическим пробоотборником. Однако это никак не отразилось на величинах соотношений ДПР/²¹²Pb (см. рис. 6).

На основании проведенных измерений следует, что на протяжении многих лет в объекте «Укрытие» наблюдается устойчивое эманирование радона и торона и образование аэрозолей их дочерних продуктов. Судя по величинам соотношений ДПР/²¹²Pb, источники эманирования газов остаются неизменными. Как следует из публикации [17], концентрации радона в системе «Байпас» меньше, чем в помещениях, расположенных на нижних уровнях. Таким образом, эманурующий там радон по мере подъема к вытяжной системе «Байпас» разбавляется атмосферным воздухом, поступающим через проемы и неплотности внешней конструкции объекта «Укрытие».

Дисперсность радиоактивных аэрозолей

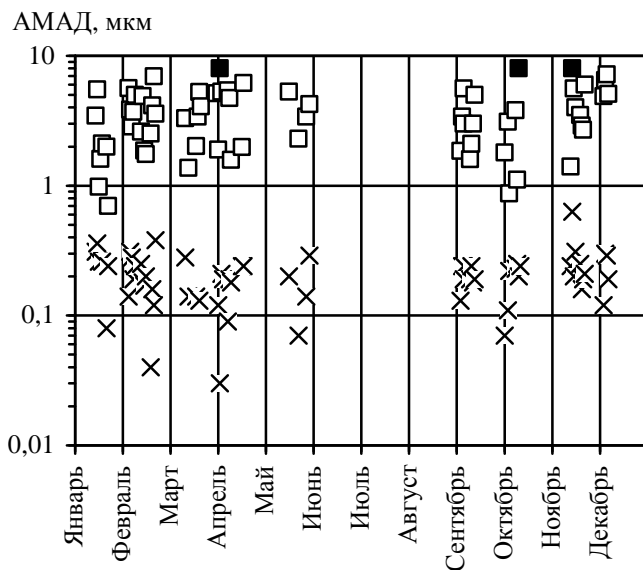


Рис. 7. АМАД носителей радионуклидов-продуктов Чернобыльской аварии (□) и ДПР (x) в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2012 г.: ■ – выделены пробы с АМАД больше 8 мкм.

Расчет дисперсного состава аэрозолей был выполнен в соответствии с методикой [19]. На рис. 7 приведены активностные медианные аэродинамические диаметры (АМАД), рассчитанные из распределения Σβ по трем слоям пакета фильтров. Как правило, носителями радионуклидов-продуктов Чернобыльской аварии были частицы с АМАД 1 – 6 мкм. Лишь в двух пробах АМАД был менее 1 мкм (минимальный размер 0,7 мкм) и в 11 % – крупнее 6 мкм. Таким образом, в 2012 г. размер частиц-носителей продуктов Чернобыльской аварии, выбрасываемых из объекта «Укрытие» через трубу ВТ-2, оставался практически таким же, как в 2005 – 2011 гг. [1, 2, 6 – 11, 13, 14].

Как и в предыдущие годы, дочерние продукты радона и торона были ассоциированы преимущественно с аэрозольными частицами, имевшими АМАД в диапазоне 0,1 – 0,3 мкм. Лишь в шести пробах (9 %) АМАД был менее 0,1 мкм (минимальный размер

0,03 мкм) и в шести (9 %) – больше 0,3 мкм (максимальный размер 0,63 мкм). Средняя величина АМАД была близка к 0,15 мкм.

Итак, дисперсный состав аэрозолей-носителей дочерних продуктов радона и торона практически не отличался от того, что было получено в системе «Байпас» в 2005 – 2011 гг. [1, 2, 6 – 11, 13, 14].

Заключение

Максимальная скорость неорганизованного выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2012 г. пришлось, как и в предыдущие годы, на зимний период и достигала 1,6 МБк/сут. Повышение скорости выброса в указанный период обусловлено значительной разностью температур внутри и снаружи объекта. Аномальное повышение величины неорганизованного выброса в августе (27 МБк) 2012 г. обусловлено длительными порывами ветра до 14 м/с во второй половине месяца. По сравнению с предыдущими годами наблюдений выброс радиоаэрозолей в 2012 г. был наименьшим.

Подводя итог наблюдениям 2012 г., можно констатировать, что как концентрации радионуклидов, так и дисперсный состав аэрозолей, поступающих из центрального зала 4-го блока в систему «Байпас», а затем трубу ВТ-2, по сравнению с 2004 – 2011 гг. практически не изменились [1, 2, 6 – 11, 13, 14].

Среди 68 отобранных проб наиболее часто концентрации аэрозолей-носителей смеси бета-излучающих нуклидов-продуктов аварии находились в диапазоне 0,5 – 10 Бк/м³. Максимальная величина $\Sigma\beta$ составила 13 Бк/м³. Такие объемные активности были связаны с невысокой интенсивностью работ внутри объекта «Укрытие», а следовательно, умеренной техногенной генерацией аэрозолей. Кроме того, в 2012 г. по сравнению, например, с 2008 г. были более мягкие погодные условия, в частности скорости ветра. Снижению пылеподъема способствовала также полимерная пленка, созданная на развале центрального зала за несколько лет работы системы пылеподавления. Как правило, носителями радионуклидов-продуктов Чернобыльской аварии были частицы с АМАД 1 – 6 мкм.

Концентрации ²¹²Pb оставались практически такими же, как ранее, поскольку на них практически не влияют работы внутри объекта «Укрытие». В итоге обработки результатов измерений около 800 проб, отобранных в 2004 – 2011 гг., получено, что концентрации ДПР и ²¹²Pb варьировали в широких пределах, однако средняя величина соотношения ДПР/²¹²Pb оказалась близка к 4. Никаких временных или сезонных закономерностей при этом не выявлено.

Дочерние продукты радона и торона были по-прежнему ассоциированы преимущественно с аэрозольными частицами, имевшими АМАД в диапазоне 0,1 – 0,3 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К., Краснов В.А. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2011 г. // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. – 2012. – Вып. 19. – С. 94 – 103.
2. Огородников Б.И., Пазухин Э.М., Ключников А.А. Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие»: 1986 – 2006 гг. – Чернобыль: ИПБ АЭС НАН Украины. – 2008. – 456 с.
3. Боровой А.А., Богатов С.А., Пазухин Э.М. Современное состояние объекта «Укрытие» и его влияние на окружающую среду // Радиохимия. – 1999. – Т. 41, № 4. – С. 368 – 378.
4. Радиационно-физические характеристики топлива 4-го энергоблока ЧАЭС и оценка их погрешности: Справочник / А. А. Боровой, А. А. Довбенко, В. М. Маркушев и др. / КЭ при ИАЭ им. И. В. Курчатова. – Инв. № 11.07-06/172. – Чернобыль, 1989. – 115 с.
5. Выполнение работ по анализу неорганизованных выбросов из объекта «Укрытие»: (Отчет) / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины. – Чернобыль, 1998. – 67 с. – ГР № 0198U007454. Учетн. № 0399U002202 УкрИНТИ.
6. Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К. и др. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2006 г. // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. – 2007. – Вып. 7. – С. 116 – 121.
7. Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К. и др. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2007 г. // Там же. – 2008. – Вып. 9. – С. 48 – 53.
8. Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К., Краснов В.А. Контроль выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2008 г. // Там же. – 2009. – Вып. 12. – С. 154 – 162.
9. Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К., Краснов В.А. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2009 г. // Там же. – 2010. – Вып. 13. – С. 111 – 122.
10. Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К., Краснов В.А. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2010 г. // Там же. – 2011. – Вып. 17. – С. 98 – 105.
11. Огородников Б.И., Павлюченко Н.И., Будыка А.К. Выброс радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» при сильных ветрах // Радиационная биология. Радиозэкология. – 2004. – Т. 44, № 4. – С. 421 – 433.

12. *Краснов В.А., Криницин А.П., Огородников Б.И. и др.* Оценка воздействия модернизированной системы пылеподавления на радиационную обстановку внутри объекта «Укрытие» и на окружающую среду // Проблемы Чернобиля. – 2004. – Вып. 15. – С. 24 – 33.
13. *Павлюченко Н.И., Хан В.Е., Криницин А.П. и др.* Контроль неорганизованных сбросов и выбросов из объекта «Укрытие» в 2004 г. // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2005. – Вып. 2. – С. 22 – 32.
14. *Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К. и др.* Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2005 г. // Там же . – 2006. – Вып. 6. – С. 85 – 94.
15. *Postendörfer J.* Properties and behaviour of radon and their decay products in air // J. Aerosol Sci. – 1994. – Vol. 25. – P. 219 – 263.
16. *Огородников Б.И.* Свойства, поведение и мониторинг радона и торона и их дочерних продуктов в воздухе // Атомная техника за рубежом. – 2001. – № 5. – С. 14 – 25.
17. *Огородников Б.И., Хан В.Е., Пазухин Э.М., Краснов В.А.* Радон и его дочерние продукты в объекте «Укрытие» в 2000 – 2010 гг. // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2011. – Вып. 16. – С. 130 – 136.
18. *Хомутинин Ю.В., Процак В.П., Хан В.Е., Огородников Б.И.* Статистический анализ многолетних наблюдений характеристик радиоактивного аэрозоля в системе «Байпас» объекта «Укрытие» // Там же. – 2012. – Вып. 19. – С. 81 – 93.
19. *Vudyka A.K., Ogorodnikov B.I., Skitovich V.I.* Filter pack technique for determination of aerosol particle sizes // J. of Aerosol Sci. – 1993. – Vol. 24. – Suppl. 1. – P. S205 – S206.

В. С. Хан¹, Б. И. Огородников^{1,2}, О. К. Калиновский¹, В. О. Краснов¹

¹ *Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна*
² *Фізико-хімічний інститут ім. Л. Я. Карпова, пров. Обуха, б3-1/12, буд. 6, Москва, 105064, Росія*

КОНТРОЛЬ ВИНЕСЕННЯ РАДІОАКТИВНИХ АЕРОЗОЛІВ З ОБ'ЄКТА "УКРИТТЯ" У 2012 Р.

Наведено результати контролю викиду радіоактивних аерозолів з об'єкта «Укриття» у 2012 р. Максимальна величина неорганізованого викиду спостерігалася в зимовий період і досягала 1,6 МБк/доба. Концентрації довгоживучих бета-випромінюючих аерозолів, що надходили в атмосферу через систему «Байпас», знаходилися зазвичай в діапазоні 0,05 – 10 Бк/м³ (максимальна концентрація 13 Бк/м³). Їхніми носіями в більшості випадків були частинки з АМАД 1 – 6 мкм. Концентрації ²¹²Pb (дочірнього продукту торону) становили, як правило, 1 – 5 Бк/м³. Вони зазвичай мали АМАД 0,1 - 0,3 мкм. Об'ємні активності та дисперсність аерозолів у викидах з об'єкта «Укриття» залишаються практично стабільними впродовж останніх дев'яти років. Показано, що протягом 2004 – 2012 рр. співвідношення концентрацій короткоживучих дочірніх продуктів радону і ²¹²Pb в повітряному потоці, що викидаються в атмосферу через систему «Байпас», залишається постійним і близько до 4.

Ключові слова: об'єкт «Укриття», аерозолі, об'ємна активність, АМАД.

V. E. Khan¹, B. I. Ogorodnikov^{1,2}, A. K. Kalinovskiy¹, V. A. Krasnov¹

¹ *Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, Kirova str., 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine*
² *Karpov Institute of Physical Chemistry, Obuha pereulok, 3-1/12, build 6, Moscow, 105064, Russia*

CONTROL OF RELEASES OF RADIOACTIVE AEROSOLS FROM OBJECT "UKRYTTYA" IN 2012

The results of control of radioactive particulate emission are presented from the object "Ukryttya" in 2012. The maximal rate of unorganized releases of beta-radiating products of Chernobyl accident was in winter period, and reached 1,6 MBq/day. The concentration of long-lived beta-radiating aerosols released in atmosphere from system "Bypass" was within the range 0.05 – 10 Bq/m³ (maximal concentration was 13 Bq/m³). Their carriers were particles with active median aerodynamic diameter (AMAD) 1– 6 μm. The concentration of ²¹²Pb (daughter products of thoron) consisted as a rule 1 – 5 Bq/m³. They have AMAD 0.1 – 0.3 μm. The relation of concentrations of daughter products of radon and ²¹²Pb were about 4. A volume activity and dispersity of aerosols in releases from object "Ukryttya" remain constant the last nine years.

Keywords: object "Ukryttya", aerosols, volumetric activity, activity median aerodynamic diameter.

REFERENCES

1. *Khan V. E., Ogorodnikov B. I., Kalinovskiy A. K., Krasnov V. A.* Control of releases of radioactive aerosols from "Ukryttya" object in 2011 // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy і Chornobyly (Problems of nuclear power plants and of Chornobyl). - 2012. - Iss. 19. - P. 94 – 103. (Rus)
2. *Ogorodnikov B. I., Pazukhin E. M., Klyuchnikov A. A.* Radioactive aerosols of the Shelter: 1986 - 2006 years. – Chornobyl: National Academy of Sciences of Ukraine. Institute of Problems of NPP safety, 2008. - 456. (Rus)

3. *Borovoy A. A., Bogatov S. A., Pazukhin E. M.* The current state of the object "Shelter" and its impact on the environment // *Radiokhimiya (Radiochemistry)*. – 1999. – Vol. 41, № 4. – P. 368 - 378. (Rus)
4. *Radiation-physical characteristics of fuel 4 ChNPP Unit and assessment of their error: Directory / A. A. Borovoy, A. A. Dovbenko, V.M. Markushev etc.* // *CE at I. V. Kurchatov Institute of Atomic Energy - Inv. № 11.07-06/172.* - Chernobyl, 1989. - 115 p. (Rus)
5. *Performance of work on the analysis of fugitive emissions from the "Shelter" (Report) / ISTD "Shelter" NAS.* - Chernobyl, 1998. - 67 p. - GR № 0198U007454. Comm. № 0399U002202 UkrINTI.
6. *Khan V. E., Ogorodnikov B. I., Kalinovskiy A. K., Krasnov V. A.* Control of releases of radioactive aerosols from "Ukryttya" object in 2006 // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chernobyly (Problems of nuclear power plants and of Chernobyl)*. - 2007. - Iss. 7. - P. 116 – 121. (Rus)
7. *Khan V. E., Ogorodnikov B. I., Kalinovskiy A. K., Krasnov V. A.* Control of releases of radioactive aerosols from "Ukryttya" object in 2007 // *Ibid.* - 2008. - Iss. 9. - P. 48 – 53. (Rus)
8. *Khan V. E., Ogorodnikov B. I., Kalinovskiy A. K., Krasnov V. A.* Control of releases of radioactive aerosols from "Ukryttya" object in 2008 // *Ibid.* - 2009. - Iss. 12. - P. 154 – 162. (Rus)
9. *Khan V. E., Ogorodnikov B. I., Kalinovskiy A. K., Krasnov V. A.* Control of releases of radioactive aerosols from "Ukryttya" object in 2009 // *Ibid.* - 2010. - Iss. 13. - P. 111 – 122. (Rus)
10. *Khan V. E., Ogorodnikov B. I., Kalinovskiy A. K., Krasnov V. A.* Control of releases of radioactive aerosols from "Ukryttya" object in 2010 // *Ibid.* - 2011. - Iss. 17. - P. 98 – 105. (Rus)
11. *Ogorodnikov B. I., Pavlyuchenko N. I., Budyka A. K.* The release of radioactive aerosols from the "Shelter" in strong winds // *Radiacionaya Biologiya. Radioecologiya.* - 2004. - Vol. 44, № 4. - P. 421 – 433. (Rus)
12. *Krasnov V. A., Krinitsyn A. P., Ogorodnikov B. I., etc.* Estimation of modernized dust suppression system impact to radiation conditions inside "Ukryttya" object and environment // *Problemy Chernobylia.* - 2004. - Iss. 15. - P. 24 - 33. (Rus)
13. *Pavlyuchenko N. I., Khan V. E., Krinitsyn A. P.* Control of fugitive emissions and discharges of the "Shelter" in 2004 // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chernobylya (Problems of nuclear power plants and of Chernobyl)*. - 2005. - Iss. 2. - P. 22 – 32. (Rus)
14. *Khan V. E., Ogorodnikov B. I., Kalinovskiy A. K., Krasnov V. A.* Control of releases of radioactive aerosols from "Ukryttya" object in 2005 // *Ibid.* - 2006. - Iss. 6. - P. 85 – 94. (Rus)
15. *Postendörfer J.* Properties and behaviour of radon and their decay products in air // *J. Aerosol Sci.* – 1994. – Vol. 25. – P. 219 – 263.
16. *Ogorodnikov B. I.* Properties, behavior, and monitoring of radon and thoron and their progeny in the air // *Atomnaya tehnika za rubegom.* - 2001. - № 5. - P. 14 - 25. (Rus)
17. *Ogorodnikov B. I., Khan V. E., Pazukhin E. M., Krasnov V. A.* Radon and its daughter products in "Ukryttya" object in 2003 – 2010 // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chernobylya (Problems of nuclear power plants and of Chernobyl)*. - 2012. - Iss. 16. - P. 130 – 136. (Rus)
18. *Khomutinin Y. V., Protsak V. P., Khan V. E., Ogorodnikov B. I.* Statistical analysis of long-term observations of radioactive aerosols in the "Bypass" "Shelter" // *Ibid.* - 2012. - Iss. 19. - P. 81 – 93. (Rus)
19. *Budyka A K., Ogorodnikov B I., Skitovich V.I.* Filter pack technique for determination of aerosol particle sizes // *J. of Aerosol Sci.* – 1993. – Vol. 24. – Suppl. 1. – P. S205 – S206.

Надійшла 20.03.2013
Received 20.03.2013