

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

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

КОНТРОЛЬ ВЫБРОСОВ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ИЗ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» В 2011 г.

Представлены результаты контроля выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2011 г. Максимальная скорость неорганизованного выброса бета-излучающих продуктов Чернобыльской аварии наблюдалась в зимний период и достигала 6 МБк/сут. Концентрации долгоживущих бета-излучающих аэрозолей, поступавших в атмосферу через систему «Байпас», находились обычно в диапазоне 1 – 10 Бк/м³ (максимальная концентрация 45 Бк/м³). Их носителями в большинстве случаев были частицы с АМАД 1 – 5 мкм. Концентрации ²¹²Pb – дочернего продукта торона составляли, как правило, 1 – 5 Бк/м³. Они обычно имели АМАД 0,05 – 0,3 мкм. Объемные активности и дисперсность аэрозолей в выбросах из объекта «Укрытие» остаются практически стабильными на протяжении последних восьми лет. Подтверждена связь скорости потока в системе «Байпас» с разностью температур снаружи и внутри объекта «Укрытие»: изменение температуры на 1 °С приводит к изменению скорости на 0,1 м/с.

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

Введение

В 2011 г. был продолжен систематический контроль количества и состава радиоактивных аэрозолей, выбрасываемых из объекта «Укрытие» [1]. Начатые 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 («Арки»).

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 4б⁺¹³⁰⁰), 10 (ряд Л⁺⁷⁰⁰, ось 4б⁺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 2011 г. по 31 декабря составил 5,3 и 419 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 бета-активных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2011 г. наблюдалась в зимний период и достигала 6 МБк/сут, что является наибольшей за последних 5 лет наблюдений. В этот же период с 1 по 15 февраля наблюдалось повышение концентрации радиоактивных аэрозолей в приземном слое воздуха локальной зоны объекта «Укрытие» до 1,8·10⁻² Бк/м³. Повышение скорости выброса в указанный период обусловлено значительной разностью температур внутри и снаружи объекта в сочетании с длительными

© В. Е. Хан, Б. И. Огородников, А. К. Калиновский, В. А. Краснов, 2012

порывами ветра до 14 м/с. Подобное сезонное повышение скорости выброса радиоактивных аэрозолей происходило также в 2010 г. (рис. 1).

Таблица 1. Оценка выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2011 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
30.11.2010	43	0,010	0,12	0,71	8,6
12.01	21	0,012	0,4	1,1	32
02.02	28	0,078	2,6	6,0	200
02.03	35	0,013	3,0	0,98	230
06.04	35	0,011	3,4	0,73	260
11.05	28	0,0047	3,5	0,32	270
08.06	27	0,0056	3,7	0,44	280
05.07	29	0,0037	3,8	0,27	290
03.08	34	0,011	4,2	0,88	320
06.09	29	0,014	4,6	1,2	350
05.10	28	0,008	4,8	0,97	380
02.11	34	0,012	5,2	0,89	410
06.12	21	0,004	5,3	0,37	419
Среднее		0,014	–	1,1	–

* 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 .

На рис. 2 представлена динамика неорганизованного выброса радиоактивных аэрозолей через щели в кровле объекта «Укрытие» в период 1996 – 2011 гг. Как видно из рисунка, в 1998 г. наблюдалось возрастание активности, что обусловлено проведением работ по укреплению вентиляционной трубы. Повышение радиозольной 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».

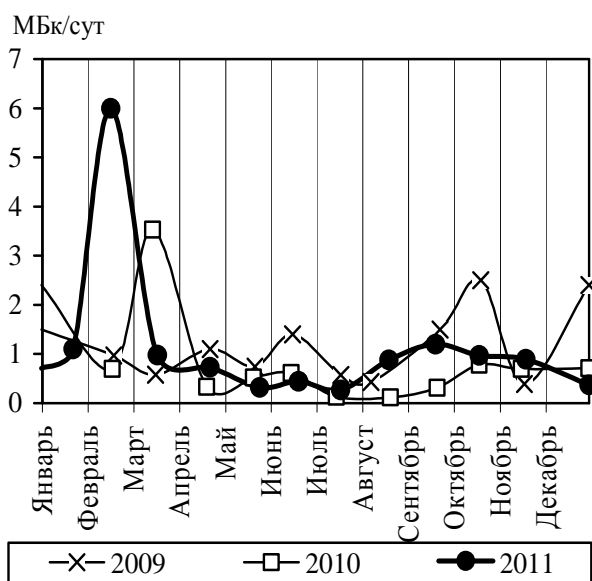


Рис. 1. Динамика неорганизованного выброса бета-активных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2009 – 2011 гг.

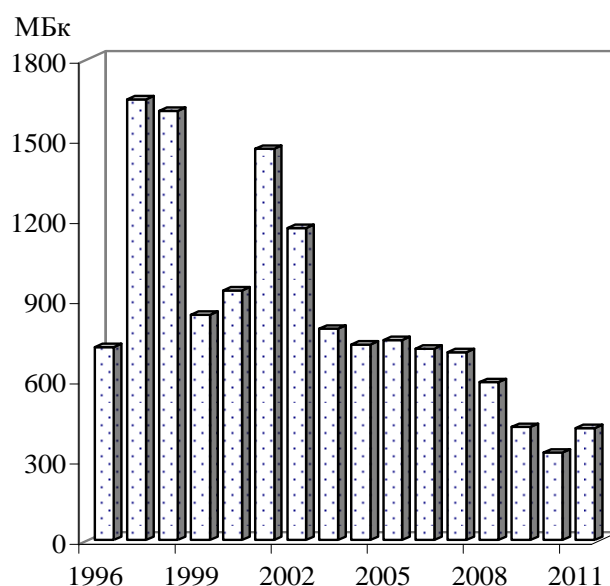


Рис. 2. Динамика неорганизованного выброса бета-активных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 1996 – 2011 гг.

В августе 2011 г. начались мероприятия по установке новой вентиляционной трубы. Они включали работы по вырезке участка крыши (долбление, резка бетона), монтаж металлических конструкций (сварка, резка), уборка и транспортировка образовавшихся РАО. Все это привело к повышению величины неорганизованного выброса аэрозолей: в августе до 30 МБк, в сентябре до 35 МБк. Для сравнения, в августе 2010 г. величина неорганизованного выброса составила 4 МБк, в сентябре – 9 МБк. Одновременно наблюдалось повышение объемной активности в приземном слое воздуха локальной зоны объекта «Укрытие». Так, на юге ее со 2 по 16 августа объемная активность достигла максимального в 2011 г. значения $2,4 \cdot 10^2$ Бк/м³. Таким образом, возрастание скорости радиоаэрозольного выброса в зимний период и проведение летом и осенью работ по обустройству места на крыше объекта «Укрытие» под новую вентиляционную трубу обусловили некоторое повышение годового выброса аэрозолей в 2011 г. по сравнению с предыдущим годом (см. рис. 2).

Результаты контроля выброса радиоактивных аэрозолей в системе «Байпас»

Концентрации радиоактивных аэрозолей

В 2011 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 (III 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.

Таблица 2. Данные мониторинга радиоактивных аэрозолей в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2011 г.

Дата отбора	Концентрация, Бк/м ³				¹³⁷ Cs Σβ	Σβ		ДПР*		Условия отбора	Ветер		
	¹³⁷ Cs	Σβ	ДПР	²¹² Pb		АМАД, мкм	σ	АМАД, мкм	σ		средний, м/с	порывы, м/с	направ., град
20.1	1,3	2,2	19	4,9	0,58	6,0	2,1	0,20	2,7	туман	1,0	3,0	360
21.1	0,90	1,5	22	3,4	0,60	5,1	2,2	0,27	2,3	штиль	1,0	4,0	120
1.2	1,6	7,2	3,5	1,2	0,23	3,3	2,0	0,29	2,0	тихо	2,0	6,5	270
2.2	1,4	4,0	5,8	1,9	0,36	3,1	1,9	0,24	3,1		2,0	5,0	260
3.2	1,7	5,0	9,6	3,0	0,34	5,5	2,1	0,39	3,7		2,0	6,0	260
4.2	1,9	5,2	7,7	3,1	0,36	6,0	2,0	0,12	3,5		2,0	5,5	260
8.2	0,81	1,6	2,6	0,57	0,51	7,4	2,3	0,44	6,0		2,5	6,5	210
10.2	1,4	3,4	2,3	0,48	0,42	3,6	2,5	0,65	7,9	ветрено	3,5	10	310
11.2	1,6	5,5	4,2	0,90	0,28	5,3	2,8	0,09	20		1,5	4,5	230
15.2	6,8	15	8,7	0,92	0,44	2,3	1,8	0,12	3,5		2,0	5,0	330
16.2	6,0	16	7,5	2,2	0,37	2,3	1,6	0,45	7,2	штиль	0,5	2,5	315
17.2	4,4	13	9,8	2,2	0,33	1,2	1,6	0,22	1,8	штиль	1,5	3,5	100
16.3	1,7	4,2	3,8	1,2	0,40	3,0	3,8	0,06	7,4		2,0	5,5	15
17.3	1,1	3,0	14	3,3	0,36	4,3	2,0	0,05	18	штиль	1,0	5,0	65
18.3	0,64	2,6	8,3	2,4	0,25	3,7	1,9	0,10	7,6		2,0	5,0	115
21.3	1,6	5,0	3,6	1,0	0,32	4,7	2,0	0,17	4,8		2,0	6,0	290
22.3	0,19	0,56	7,0	1,9	0,34	0,7	1,1	0,18	1,3		2,5	5,5	245
23.3	1,5	3,8	7,4	3,2	0,39	4,6	2,1	0,18	1,6	ветрено	2,5	7,5	300
24.3	0,59	1,2	6,1	2,1	0,48	2,5	2,3	0,070	7,4	ветрено	4,5	11	285
25.3	0,20	0,55	7,1	2,6	0,36	1,9	2,6	0,080	8,0		2,0	6,0	290
28.3	1,8	6,9	4,0	0,48	0,27	5,8	2,0	0,26	2,4	ветрено	4,0	11	185
29.3	0,72	1,6	8,2	0,55	0,46	5,3	2,5	0,22	3,4		2,0	5,0	220

Продолжение табл. 2

Дата отбора	Концентрация, Бк/м ³					$\Sigma\beta$		ДПР*		Условия отбора	Ветер		
	¹³⁷ Cs	$\Sigma\beta$	ДПР	²¹² Pb	$\frac{^{137}\text{Cs}}{\Sigma\beta}$	АМАД, мкм	σ	АМАД, мкм	σ		средний, м/с	порывы, м/с	направ., град
30.3	1,4	3,5	8,4	0,056	0,41	2,3	1,3	0,05	19	ветрено	3,0	10	300
31.3	0,90	0,8	7,2	1,2	1,1	7,0	2,6	0,22	1,7	штиль	2,0	4,5	75
4.4	2,3	9,0	2,8	2,8	0,25	4,7	2,2	0,11	3,2		2,0	7,0	100
6.4	3,3	8,0	1,1	0,41	0,41	3,4	1,7	0,07	16	ветрено	2,5	7,5	325
7.4	0,79	2,1	14	4,9	0,37	3,7	1,5	0,12	7,3	ветрено	4,0	12	325
8.4	2,7	11	12	4,7	0,25	5,3	1,8	0,10	4,0	ветрено	5,0	12	265
11.4	2,1	4,3	10	4,0	0,48	2,5	2,3	0,17	2,7	ветрено	2,5	9,0	315
12.4	0,41	1,1	6,1	1,5	0,36	6,1	3,9	0,12	4,9	штиль	1,0	3,5	35
13.4	0,15	0,67	3,2	0,47	0,22	6,2	2,1	0,17	2,2		2,5	6,5	190
14.4	0,15	0,48	3,4	0,82	0,31	1,4	1,8	0,29	2,6		1,5	4,5	335
15.4	0,63	2,0	8,4	2,5	0,32	3,4	2,0	0,12	6,0		2,0	7,5	15
17.5	1,0	3,8	2,2	0,64	0,26	5,9	2,6	0,2	-		1,0	5,0	310
18.5	1,8	6,6	1,4	0,44	0,28	2,8	1,8	0,13	6,2		2,0	5,5	240
19.5	0,65	2,1	4,5	0,74	0,31	2,9	2,6	0,14	7,2	штиль	1,0	3,0	55
24.5	0,16	0,56	5,6	2,3	0,29	1,6	2,3	0,11	6,9	штиль	1,0	5,5	10
25.5	10	45	7,1	2,7	0,22	2,4	1,2	-	-	ливень	2,0	6,0	335
26.5	0,84	3,2	4,6	1,7	0,26	5,4	2,6	0,23	2,6		2,0	6,0	330
27.5	0,50	1,6	1,2	0,62	0,31	3,6	2,6	0,05	8,1		2,0	6,5	190
16.9	0,87	3,0	5,5	1,7	0,29	0,60	1,1	0,15	-		2,0	6,0	260
19.9	2,6	11	5,3	1,4	0,24	1,6	1,5	0,20	1,2	ветрено	3,0	10	130
20.9	0,50	1,4	16	3,5	0,36	1,6	2,1	0,24	1,9		1,5	4,5	110
21.9	0,48	1,8	14	3,8	0,27	4,7	3,1	0,12	3,5	штиль	0,5	3,0	320
22.9	0,57	1,6	21	4,0	0,36	4,3	2,5	0,10	6,2		1,0	3,0	110
23.9	-	6,2	13	4,0	-	1,5	5,9	0,29	3,9		1,0	4,5	260
3.10	1,3	3,7	22	8,7	0,36	4,0	2,4	0,21	1,7		1,5	5,5	270
4.10	1,2	3,0	14	3,9	0,39	4,1	2,6	0,09	-		2,0	5,0	270
5.10	0,89	2,0	19	5,9	0,45	4,4	2,1	0,10	6,9	ветрено	3,0	9,5	290
6.10	0,18	0,61	8,1	2,1	0,30	2,0	4,5	0,13	6,9		1,5	5,0	270
7.10	0,15	0,52	12	2,0	0,29	-	-	0,16	5,1		1,5	4,0	200
10.10	0,44	0,95	4,9	1,7	0,46	2,9	4,0	0,12	3,5		2,0	7,0	290
11.10	0,68	1,9	9,9	3,0	0,36	3,9	3,1	0,04	-		3,0	7,5	225
12.10	0,45	1,0	8,7	3,7	0,44	1,4	1,6	0,11	6,3		1,5	6,5	260
14.10	0,08	0,33	4,1	1,6	0,24	0,61	1,6	0,25	3,1		2,0	5,0	300
17.10	0,48	2,0	10	4,2	0,24	0,62	1,1	0,08	-	штиль	0,5	4,0	310
18.10	0,24	1,5	13	4,8	0,16	0,73	1,1	0,19	2,1	штиль	1,0	5,0	70
19.10	2,9	8,3	21	7,6	0,34	4,6	2,1	0,09	-		2,0	7,0	170
20.10	0,08	1,8	17	2,5	0,04	0,68	1,1	0,11	-		1,5	3,5	165
15.11	0,62	1,2	8,6	2,4	0,50	5,4	2,3	0,21	5	штиль	2,0	6,5	270
16.11	0,23	0,67	5,7	1,3	0,34	1,6	3,1	0,49	5,3		1,5	4,5	350
17.11	1,0	3,0	4,8	1,4	0,35	3,3	4,3	0,26	1,8		2,5	5,0	265
18.11	0,35	0,67	9,9	1,6	0,52	1,7	2,7	0,27	2,4	туман	2,0	4,5	275
21.11	0,57	1,2	12	2,4	0,48	2,5	3,4	0,32	2,3	туман	1,0	3,5	130
22.11	1,2	1,8	22	4,3	0,67	5,9	1,7	0,25	2,3	туман	1,0	3,0	225
23.11	0,23	0,82	11,5	2,2	0,28	1,3	2,4	0,43	1,2	туман	1,0	4,0	115
24.11	2,2	2,8	10	1,6	0,81	5,5	2,0	0,13	4,4		1,0	3,5	120
25.11	0,22	0,44	13	1,0	0,50	4,5	3,5	0,24	2,0	штиль	2,0	4,0	215

* Дочерние продукты радона и торона.

Как следует из табл. 2 и рис. 3, концентрация суммы долгоживущих бета-излучающих нуклидов ($\Sigma\beta$), представленных ^{90}Sr + ^{90}Y , ^{137}Cs и ^{241}Pu , изменялась от 0,33 до 45 Бк/м³. Наиболее часто (72 % проб) величина $\Sigma\beta$ находилась в диапазоне 1 – 10 Бк/м³. Лишь в пяти про-

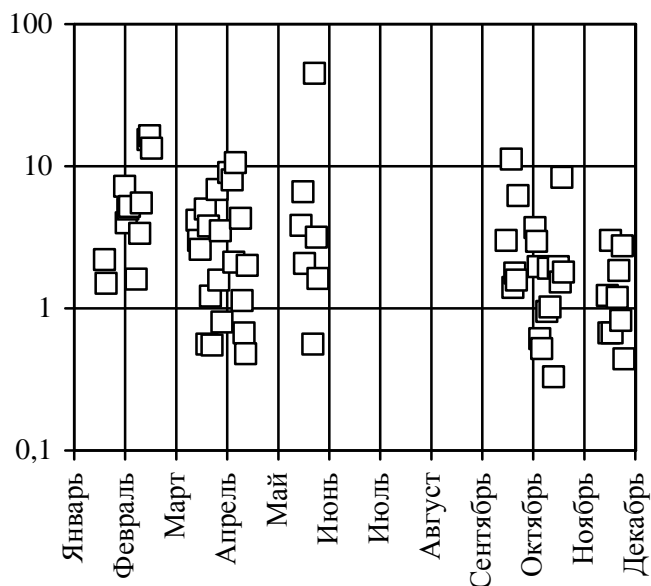


Рис. 3. Объемная активность аэрозолей-носителей суммы бета-излучающих нуклидов в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2011 г.

внутри объекта «Укрытие» не проводили интенсивных работ, сопровождавшихся значительной генерацией аэрозолей. Кроме того, были мягкие погодные условия. Так, по данным метеостанции «Чернобыль» в 2011 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, 10]. Снижению пылеподъема способствовала также полимерная пленка, образовавшаяся на развале центрального зала за несколько лет работы системы пылеподавления [11].

В семи наиболее активных пробах при гамма-спектрометрии на полупроводниковом детекторе были одновременно идентифицированы ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am, а в трех из них – еще ¹⁵⁴Eu. Отношения концентраций ¹³⁷Cs/²⁴¹Am варьировали от 25 до 74 при среднем значении 48. Это примерно на треть меньше, чем в предыдущие годы. Расхождение, вероятнее всего, связано с неопределенностью измерения малых количеств ²⁴¹Am. Отношения концентраций ²⁴¹Am/¹⁵⁴Eu варьировали от 6,1 до 6,6 при среднем значении 6,3. Эта величина несколько выше, чем расчетная для остатков ядерного топлива в объекте «Укрытие».

В большинстве проб, отобранных из системы «Байпас», отношение концентраций ¹³⁷Cs и $\Sigma\beta$ находилось в диапазоне 0,2 – 0,6 (см. табл. 2), что уже было зарегистрировано в предыдущие годы [1, 6 – 9]. Среднее арифметическое значение ¹³⁷Cs/ $\Sigma\beta$ = 0,36, что также наблюдалось в предыдущие годы. Таким образом, в составе бета-активных аэрозолей-продуктов Чернобыльской аварии, выбрасываемых в атмосферу через систему «Байпас», треть приходится на ¹³⁷Cs.

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 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 0,5 – 5 Бк/м³. Объемные активности свыше 5 Бк/м³ были зарегистрированы лишь при трех пробоотборах. Максимальная концентрация ²¹²Pb составила 8,6 Бк/м³.

бах концентрация превышала 10 Бк/м³. В предыдущие годы таких проб было больше, например в 2008 г. – девять, в 2010 г. – восемь.

Максимальная концентрация 45 Бк/м³ была зафиксирована 25 мая. Вероятнее всего, это было связано с погодными условиями. В этот день пробоотбор был начат в 08 ч 50 мин, а через 40 мин начался 10-минутный ливень, сопровождавшийся сильным ветром, максимальные порывы которого в период 09 – 12ч (по данным метеостанции «Чернобыль») равнялись 8 м/с. При этом выпало 7,6 мм осадков.

Активности менее 1 Бк/м³ были зарегистрированы в 14 пробах, минимальная величина 0,33 Бк/м³ (в предыдущем году – 0,22 Бк/м³).

Полученные результаты близки к данным предыдущих лет [1, 6 – 9], когда

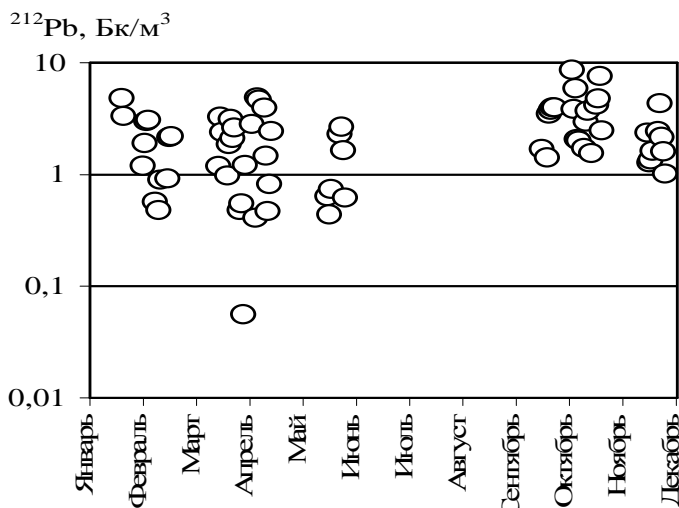


Рис. 4. Объемная активность ^{212}Pb в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2011 г.

Концентрации ^{212}Pb менее $0,5 \text{ Бк/м}^3$ зарегистрированы в пяти случаях. Минимальная величина 30 марта составила $0,056 \text{ Бк/м}^3$.

К сожалению, в 2011 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 (20 января, 18 и 21 ноября).

Сопоставление данных за 2011 г. и восьми предыдущих лет показывает, что содержание ^{212}Pb в выбросах через систему «Байпас» остается практически неизменным [1, 2, 6 – 9, 12, 13].

Динамика вентиляционного потока

При отборах аэрозолей в 2011 г. продолжались наблюдения за динамикой вентиляционного потока в системе «Байпас», в частности зависимости его скорости от температуры наружного воздуха.

Двумя годами ранее было показано, что скорость потока в системе «Байпас» зависит от разности температур наружного воздуха и внутри объекта «Укрытие», в частности в бывшем центральном зале 4-го блока [9]. Было установлено, что увеличение разности температур на один градус приводит к снижению скорости потока в системе «Байпас» примерно на $0,1 \text{ м/с}$. Если разность температур снаружи и внутри достигает $20 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$, тяга воздуха в системе «Байпас» прекращается. Такие «застойные» ситуации в разные годы складывались неоднократно, например в весенние месяцы (апрель, май).

Как и в предыдущие годы, данные о температуре во внешней среде получали с метеопункта «ОРУ-750», находящегося в $0,5 \text{ км}$ к югу от объекта «Укрытие». Температуру в центральном зале измеряли термопарой, расположенной в конце скважины Ю.22.129, которая из помещения 515/3 (с высотной отметки $+22 \text{ м}$) пробурена на север до лестницы 709/2. Спай термопары находится на высотной отметке $+34,5 \text{ м}$ в бетонном перекрытии на глубине $0,5 \text{ м}$ от пола центрального зала. Измерения температуры по каналу 55 проводили раз в день и автоматически записывали на пульте контроля системы «Финиш».

На рис. 5 представлен временной ход температуры. Видно, что данные 2009 и 2011 гг. практически совпадают, что связано с тепловой инертностью огромной массы конструкций объекта «Укрытие» и, в частности, развала центрального зала. Как видно, температуры изменяются асинхронно: в весенние и летние месяцы в центральном зале холоднее, чем снаружи, а осенью и зимой – наоборот.

Во время отбора проб аэрозолей из системы «Байпас» скорость потока, поступающего из центрального зала, регулярно контролировали по показаниям стационарного расходомера. Скорости потока менее $0,75 \text{ м/с}$ отбраковывали, поскольку поток в «Байпасе» становился неустойчивым и показания расходомера имели большую неопределенность. Из-за пульсаций потока даже при скоростях свыше 1 м/с показания прибора все время отклоняются от средней величины на $\pm 0,2 \text{ м/с}$.

На рис. 6 приведены скорости потока в системе «Байпас» в зависимости от разности температур снаружи и внутри объекта «Укрытие». При этом точки группируются в двух областях: в первой (верхней) за период январь – май и во второй – сентябрь – ноябрь. В первой области они могут быть аппроксимированы прямой линией, которая была получена в 2009 г. [9].

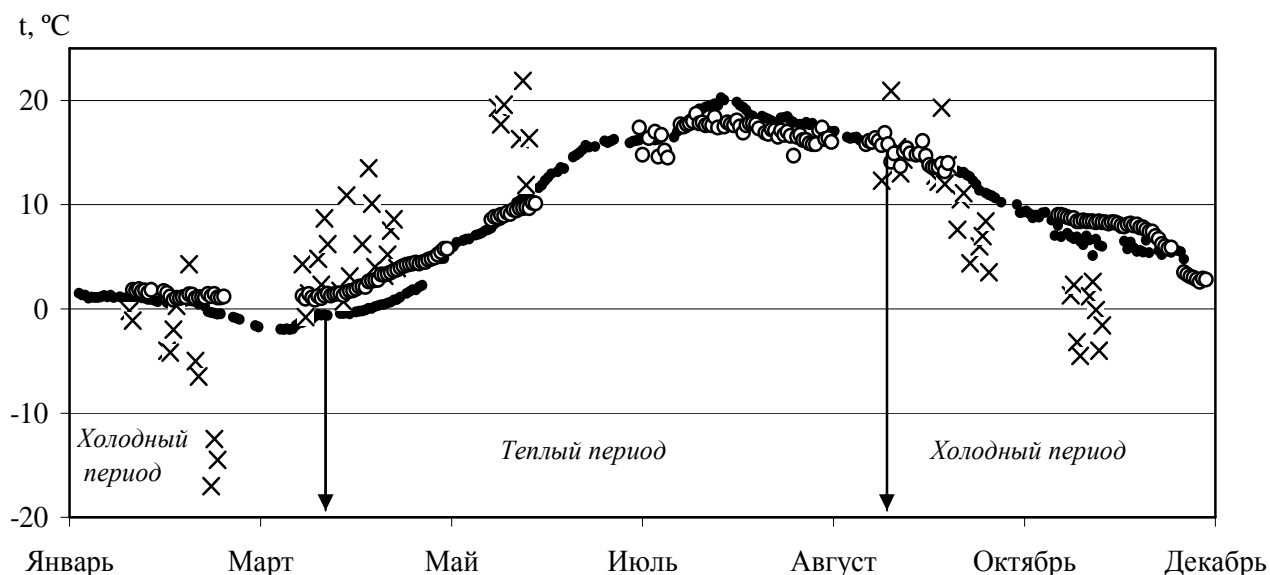


Рис. 5. Температура воздуха в центральном зале в 2009 г. (○), 2011 г. (●) и на метеопункте «ОРУ-750» в 2011 г. (×).

Из пересечения этой прямой с осью абсцисс следует, что тяга воздуха через систему «Байпас» прекращается (скорость потока равна 0), если разность температур снаружи и внутри достигает 20 – 25 °С. Таким образом, данные за январь – май 2011 г. практически аналогичны результатам 2009 г.

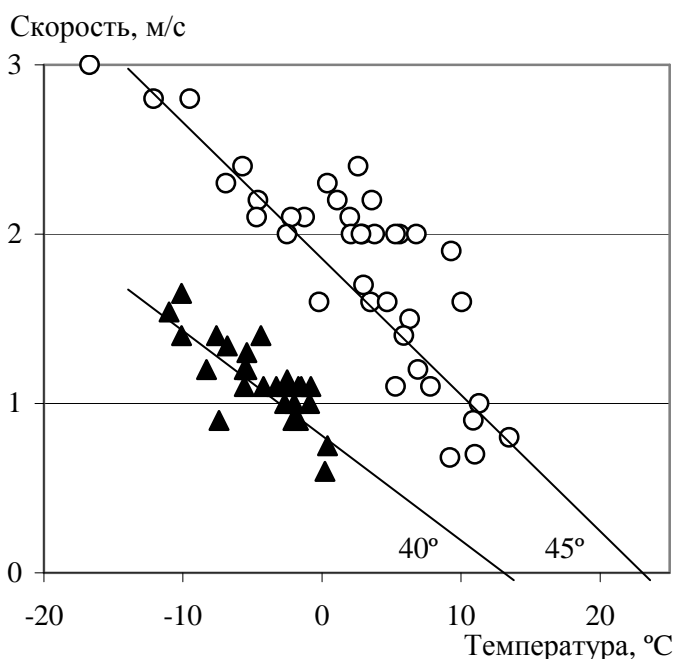


Рис. 6. Скорости потока в системе «Байпас» в зависимости от разности температур воздуха во внешней среде и внутри объекта «Укрытие» в январе – мае (○) и сентябре – ноябре (▲) 2011 г.

напрямую выходить в атмосферу. Сложилась иные термодинамические и аэродинамические условия, которые привели с конца лета к изменению тяги воздуха в системе «Байпас». В декабре 2011 г. новая вентиляционная труба была смонтирована, но в потолочном перекрытии помещения 7001 оставались зазоры.

Во второй области точки можно аппроксимировать прямой с наклоном 40 град, пересекающей ось абсцисс в районе 10 – 15 °С, т.е. тяга прекращается при значительно меньшей разности температур.

Почему же все измерения 2011 г. разделились на две области: первая для зимне-весеннего периода и вторая для осеннего? Причина в том, что со второй половины года начались работы по строительству новой вентиляционной трубы, которая необходима для сооружения нового безопасного конфайнмента (надвижки «Арки»). В августе приступили к демонтажу перекрытия помещения 7001, в которое поступают вентиляционные потоки со всех помещений II очереди ЧАЭС, в том числе из системы «Байпас». Отсюда они через высотную трубу ВТ-2 выбрасываются в окружающую среду. После вскрытия потолка помещения 7001 воздух стал

Результаты, приведенные на рис. 6, свидетельствуют, что введение в эксплуатацию новой вентиляционной трубы и демонтаж ВТ-2 несомненно отразятся на закономерностях истечения воздуха через систему «Байпас», в частности на разнице температур наружного воздуха и внутри объекта «Укрытие», при которой будет прекращаться тяга через систему «Байпас».

Дисперсность радиоактивных аэрозолей

Расчет дисперсного состава аэрозолей был выполнен в соответствии с методикой [14]. На рис. 7 приведены активностные медианные аэродинамические диаметры (АМАД), рассчитанные из распределения $\Sigma\beta$ по трем слоям пакета фильтров. Как правило, носителями радионуклидов-продуктов Чернобыльской аварии были частицы с АМАД 1 – 5 мкм. Лишь в 10 % проб АМАД был менее 1 мкм (минимальный размер 0,6 мкм) и в 23 % – крупнее 5 мкм (максимальный размер 7,4 мкм). Таким образом, размер частиц-носителей продуктов Чернобыльской аварии в 2011 г., выбрасываемых из объекта «Укрытие» через трубу ВТ-2, оставался практически таким же, как в 2005 – 2010 гг. [1, 2, 6 – 9, 13].

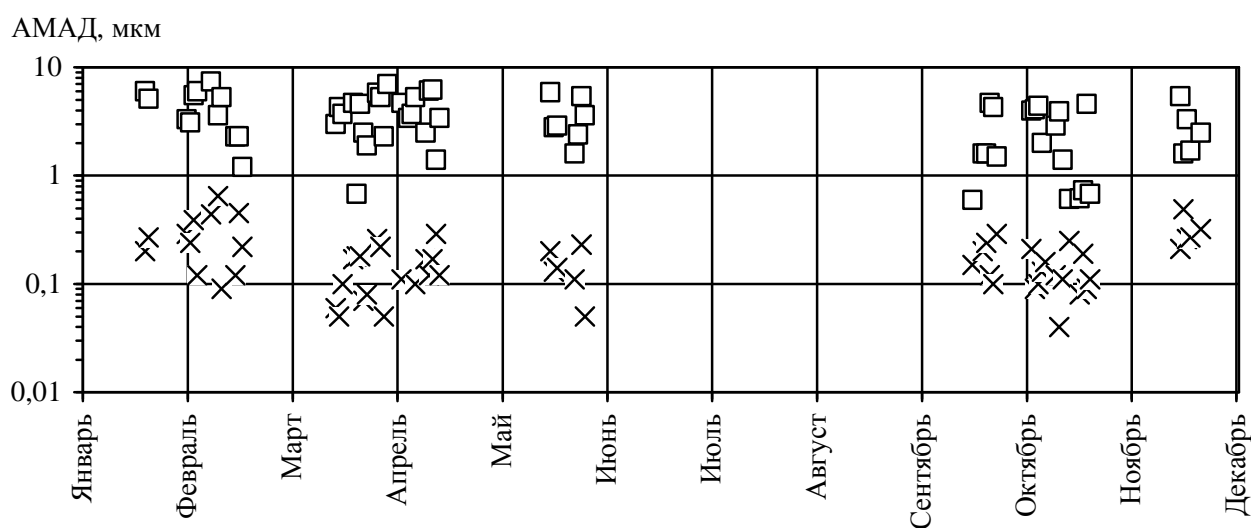


Рис. 7. АМАД носителей радионуклидов-продуктов Чернобыльской аварии (□) и ДПР (X) в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2011 г.

Как и в предыдущие годы, дочерние продукты радона и торона были ассоциированы преимущественно с аэрозольными частицами, имевшими АМАД в диапазоне 0,05 – 0,3 мкм. Средняя величина АМАД была близка к 0,15 мкм. Лишь в трех пробах (4 %) АМАД был менее 0,05 мкм (минимальный размер 0,04 мкм) и в шести (9 %) – больше 0,3 мкм (максимальный размер 0,65 мкм). Эти наиболее крупные носители дочерних продуктов радона и торона наблюдались при ветреной погоде 10 февраля, когда за три часа до начала пробоотбора максимальные порывы ветра достигали 14 м/с, а в период пробоотбора – 10 м/с. Такие условия, очевидно, привели к пылеподъему в помещениях объекта «Укрытие» и поступлению в «Байпас» сравнительно крупных частиц.

Итак, дисперсный состав аэрозолей-носителей дочерних продуктов радона и торона практически не отличался от того, что было получено в потоке воздуха через систему «Байпас» в 2005 – 2010 гг. [1, 2, 6 – 9, 13].

Заключение

Максимальная скорость неорганизованного выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2011 г. пришлась, как и в предыдущие годы, на зимний период и достигала 6 МБк/сут. Повышение скорости выброса в указанный период обусловлено значительной разностью температур внутри и снаружи в сочетании с длительными порывами ветра до 14 м/с.

Выполнение мероприятий по сооружению новой вентиляционной трубы привело к повышению неорганизованного выброса радиоактивных аэрозолей: в августе до 30 МБк и в сентябре до 35 МБк. Как следствие этого, в приземном слое воздуха локальной зоны объекта «Укрытие» в этот период наблюдалось повышение объемной активности. Так, на юге локальной зоны со 2 по 16 августа бета-активность достигла максимального в 2011 г. значения $2,4 \cdot 10^{-2}$ Бк/м³.

Возрастание скорости аэрозольного выброса в зимний период и проведение летом и осенью работ на крыше объекта «Укрытие» по сооружению новой вентиляционной трубы обусловили некоторое повышение годового выброса аэрозолей в 2011 г. по сравнению с 2010 г. Однако величина выброса в 2011 г. не превысила выброс 2009 г.

При контроле выбросов через систему «Байпас» среди 68 отобранных проб наиболее часто концентрации аэрозолей-носителей смеси бета-излучающих нуклидов-продуктов аварии находились в диапазоне 1 – 5 Бк/м³. Максимальная величина $\Sigma\beta$ составила 45 Бк/м³. Такие объемные активности были связаны с невысокой интенсивностью работ внутри объекта «Укрытие», а следовательно, и меньшей генерацией аэрозолей. Кроме того, в 2011 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 – 5 мкм.

Концентрации ²¹²Pb (дочернего продукта торона) оставались практически такими же, как ранее, поскольку на них мало влияют работы внутри объекта «Укрытие». Дочерние продукты радона и торона были по-прежнему ассоциированы преимущественно с аэрозольными частицами, имевшими АМАД в диапазоне 0,05 – 0,3 мкм.

Подводя итог наблюдениям 2011 г., можно констатировать, что как по концентрациям радионуклидов, так и по дисперсному составу аэрозолей, поступающие из центрального зала 4-го блока в систему «Байпас», а затем трубу ВТ-2, практически не изменились по сравнению с 2004 – 2010 гг. [1, 2, 6 – 9, 12, 13].

Подтверждена связь скорости потока в системе «Байпас» с разностью температур снаружи и внутри объекта «Укрытие»: изменение температуры на 1 °С приводит к изменению скорости на 0,1 м/с. Выброс воздуха через систему «Байпас» прекращается (скорость потока равна 0), если разность температур снаружи и внутри достигает 20 – 25 °С. Снижение, а тем более прекращение тяги, – нежелательное явление, поскольку приводит к застою воздуха и накоплению в помещениях объекта «Укрытие» радона и торона.

Осенью при сооружении новой вентиляционной трубы после демонтажа перекрытия помещения 7001, в которое поступают вентиляционные потоки со всех помещений II очереди ЧАЭС, обнаружена новая зависимость между скоростью воздушного потока в системе «Байпас» и разностью температур снаружи и внутри объекта «Укрытие». После вскрытия потолка помещения 7001 воздух стал напрямую выходить в атмосферу, минуя штатную трубу ВТ-2. Сложившиеся новые термодинамические и аэродинамические условия, которые привели к изменению тяги воздуха в системе «Байпас» и ее потенциальному прекращению при разности температур снаружи и внутри объекта «Укрытие» около 10 °С. Из этого следует, что введение в эксплуатацию новой вентиляционной трубы и демонтаж ВТ-2 несомненно отразятся на закономерностях истечения воздуха через систему «Байпас» и воздухообмене в помещениях объекта «Укрытие».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К., Краснов В.А. Контроль выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2010 г. // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2011. - Вип. 17. - С. 98 - 105.
2. Огородников Б.И., Пазухин Э.М., Ключников А.А. Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие»: 1986 – 2006 гг. Монография. – 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., Краснов В.А.* Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2006 г. // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2007. – Вип. 7. – С. 116 – 121.
7. *Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К., Краснов В.А.* Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2007 г. // Там же. – 2008. – Вип. 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. – Вип. 12. – С. 154 – 162.
9. *Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К., Краснов В.А.* Контроль выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2009 г. // Там же. - 2010. - Вип. 13. - С. 111 - 122.
10. *Огородников Б.И., Павлюченко Н.И., Будыка А.К.* Выброс радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» при сильных ветрах // Радиационная биология. Радиоэкология.–2004.–Т. 44, № 4.–С. 421–433.
11. *Краснов В.А., Крилицын 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. – Вип. 15. – С. 24 – 33.
12. *Павлюченко Н.И., Хан В.Е., Крилицын А.П. и др.* Контроль неорганизованных сбросов и выбросов из объекта «Укрытие» в 2004 г. // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2005. – Вип. 2. – С. 22 – 32.
13. *Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К., Краснов В.А.* Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2005 г. // Там же. – 2006. – Вип. 6. – С. 85 – 94.
14. *Вудыка А.К., 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. Є. Хан, Б. І. Огородников, О. К. Калиновський, В. О. Краснов

КОНТРОЛЬ ВИНЕСЕННЯ РАДІОАКТИВНИХ АЕРОЗОЛІВ З ОБ'ЄКТА "УКРИТТЯ" В 2011 Р.

Наведено результати контролю викиду радіоактивних аерозолів з об'єкта «Укриття» в 2011 р. Максимальна величина неорганізованого викиду спостерігалася в зимовий період і досягала 6 МБк/доба. Концентрації довгоживучих бета-випромінюючих аерозолів, що надходила в атмосферу через систему «Байпас», знаходилися зазвичай в діапазоні 1 – 10 Бк/м³ (максимальна концентрація 45 Бк/м³). Їхніми носіями в більшості випадків були частинки з АМАД 1 – 5 мкм. Концентрації ²¹²Pb - дочірнього продукту торону становили, як правило, 1 – 5 Бк/м³. Вони зазвичай мали АМАД 0,05 - 0,3 мкм. Об'ємні активності та дисперсність аерозолів у викидах з об'єкта «Укриття» залишаються практично стабільними впродовж останніх восьми років. Підтверджено зв'язок швидкості потоку в системі «Байпас» із різницею температур зовні та всередині об'єкта «Укриття»: зміна температури на 1 °С приводить до зміни швидкості на 0,1 м/с.

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

V. E. Khan, B. I. Ogorodnikov, O. K. Kalinovskiy, V. O. Krasnov

CONTROL OF RELEASES OF RADIOACTIVE AEROSOLS FROM OBJECT "UKRYTTYA" IN 2011

The results of control of radioactive particulate emission are presented from the object "Ukryttya" in 2011. The maximal rate of unorganized releases of beta-radiating products of Chernobyl accident was in winter period, and reached 6 MBq/day. The concentration of long-lived beta-radiating aerosols released in atmosphere from system "Bypass" was within the range 1 – 10 Bq/m³ (maximal concentration was 45 Bq/m³). Their carriers were particles with active median aerodynamic diameter (AMAD) 1– 5 μm. The concentration of ²¹²Pb – daughter products of thoron consisted as a rule 1 – 5 Bq/m³. They have AMAD 0.05 – 0.3 μm. A volume activity and dispersity of aerosols in releases from object "Ukryttya" remain constant the last eight years. It was confirmed that the change of air temperature at 1 °C results in the change of speed flow in the system "Bypass" near 0.1 m/s.

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

Надійшла 18.02.2011

