

КОНТРОЛЬ ВЫБРОСОВ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ИЗ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» В 2009 г.

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

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Представлены результаты контроля выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2009 г. Максимальная величина неорганизованного выброса наблюдалась в осенний и зимний периоды и достигала 2,5 МБк/сут. Концентрации долгоживущих бета-излучающих аэрозолей, поступавших в атмосферу через систему «Байпас», находились в диапазоне 1 – 10 Бк/м³. Их носителями были частицы с АМАД 2 – 5 мкм. Концентрация ²¹²Pb – дочернего продукта торона - составляла, как правило, 1 – 5 Бк/м³. Его носителями были частицы с АМАД 0,05 – 0,3 мкм. Объемные активности и дисперсность аэрозолей в выбросах из объекта «Укрытие» остаются практически стабильными на протяжении последних пяти лет. Выявлена 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, скорость потока.

Введение

В 2009 г. был продолжен систематический контроль количества и состава выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» [1]. Начатые в 1992 г. наблюдения остаются важным источником экспериментальных данных, необходимых как для оценки влияния объекта «Укрытие» на окружающую среду, так и для решения конкретных прикладных задач при разработке проекта проведения работ по созданию нового безопасного конфайнмента, монтажа и надвигки «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. 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 планшеты 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 2009 г. по 31 декабря составил 4,3 и 420 МБк соответственно (табл. 1).

Таблица 1. Оценка выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2009 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
02.12.2008	64	0,017	0,71	1,5	51
04.02	27	0,011	1,0	0,96	77
03.03	30	0,007	1,2	0,57	94
02.04	42	0,014	1,8	1,07	140
14.05	19	0,005	1,9	0,74	150
02.06	29	0,017	2,4	1,38	190

Продолжение табл. 1

01.07	34	0,006	2,6	0,56	210
04.08	35	0,003	2,7	0,43	230
08.09	28	0,018	3,2	1,5	270
06.10	29	0,010	3,5	2,5	340
04.11	28	0,004	3,6	0,39	350
02.12	62	0,024	4,3	2,4	420
Среднее		0,012		1,2	

* 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 .

Максимальная скорость выброса бета-активных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2009 г. наблюдалась в осенний и зимний периоды и достигала величины 2,5 МБк/сут. Подобное сезонное повышение скорости выброса радиоаэрозолей происходило также в 2007 – 2008 гг. (рис. 1), что обусловлено значительной разностью температур внутри и снаружи объекта «Укрытие».

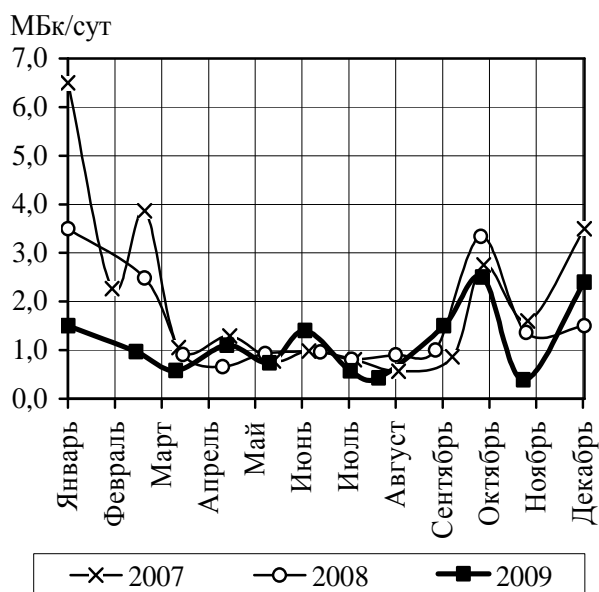


Рис. 1. Динамика неорганизованного выброса бета-активных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2007 - 2009 гг.

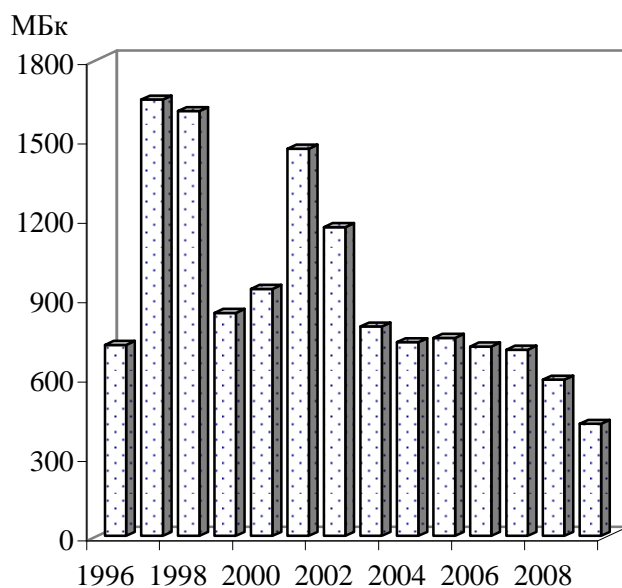


Рис. 2. Динамика выброса бета-активных аэрозолей через неплотности в кровле объекта «Укрытие» в 1996 - 2009 гг. по данным аккумулирующих планшетов.

На рис. 2 представлена динамика неорганизованного выброса радиоаэрозолей через щели в кровле объекта «Укрытие» в период 1996 - 2009 гг. Как видно из рисунка в 2008 - 2009 гг. наблюдается снижение величины неорганизованного выброса радиоактивных аэрозолей через отверстия и проемы на верхних отметках объекта «Укрытие» по сравнению с предыдущими годами. Одной из наиболее вероятных причин снижения негативного влияния объекта «Укрытие» на окружающую среду следует считать продолжение работы модернизированной системы пылеподавления.

Результаты контроля радиоактивных аэрозолей в системе «Байпас»

Концентрации радиоактивных аэрозолей

В 2009 г. были продолжены начатые в 2002 г. наблюдения за концентрациями и дисперсным составом радиоактивных аэрозолей «организованного» выброса [2], поступаю-

щего из центрального зала объекта «Укрытие» в атмосферу через систему «Байпас» и высотную вентиляционную трубу ВТ-2. Пробы аэрозолей отбирали через люк в воздуховоде системы «Байпас», имеющийся в помещении 2016/2. Методика отбора проб с использованием пакетов трехслойных волокнистых фильтров Петрянова и измерения бета-активности аэрозолей изложена в работе [2].

В табл. 2 представлены обобщенные данные концентраций и дисперсного состава радиоактивных аэрозолей, а также метеоусловий. Всего проанализировано 62 пробы. Как следует из табл. 2 и рис. 3, концентрация суммы бета-излучающих нуклидов ($\Sigma\beta$) изменялась от 0,07 до 23 Бк/м³. Наиболее часто (55 % проб) величина $\Sigma\beta$ находилась в диапазоне 1 –

Таблица 2. Данные мониторинга радиоактивных аэрозолей в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2009 г.

Дата	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	направление
21.01	1,5	2,7	11	2,1	0,53	4,2	1,5	0,05	8,1	ветрено	3	8,5	130
22.01	0,46	0,85	12	2,1	0,54	7,9	1,6	0,33	2,1	ветрено	4	9,5	150
23.01	1,1	1,8	20	4,2	0,58	7,9	1,6	0,22	2,0	туман	2,5	6,5	130
02.02	6,6	23	16	2,6	0,29	1,6	1,6	0,28	2,4	перемен. облачн.	1,5	3,5	345
03.02	5,9	11	19	2,0	0,53	1,6	1,8	0,11	14	ясно	1,5	4,5	80
04.02	2,1	7,5	18	3,7	0,28	1,9	1,2	0,11	6,2	туман	2,5	6,5	150
05.02	0,40	1,7	44	8,8	0,26	3,4	1,2	0,09	5,4	туман	0	2	0
06.02	0,37	0,74	24	4,3	0,50	6,2	2,0	0,11	5,1	туман, штиль	0	1	0
09.02	9,7	16	30	4,4	0,60	3,6	1,3	0,03	14	низкая облачн.	1	3,5	110
10.02	2,0	3,4	7	1,5	0,58	3,6	1,3	0,1	4,2	пасмурно	1,5	5,5	280
11.02	1,8	3,8	8	3,1	0,46	2,3	1,5	0,22	2,3	перемен. облачн.	2	5	130
12.02	0,86	2,1	36	7,2	0,41	3,1	1,6	0,09	5,6	туман	2	4,5	75
13.02	0,59	1,2	24	6,3	0,41	3,9	2,2	0,12	3,5	снегопад	2	6	85
16.02	4,7	20	7	1,6	0,24	5,2	1,9	0,3	2,2	снегопад	3	7	300
17.02	6,6	19	6	1,53	0,33	2,2	1,9	0,17	3,2	снегопад	3	7	270
18.02	3,8	8,4	13	2,2	0,45	4,0	2,0	0,26	2,5	перемен. облачн.	1	3	70
19.02	2,4	5,8	22	4,2	0,42	4,6	1,39	0,22	4,5	снегопад	1	3	220
16.03	1,0	1,8	24	6,1	0,50	2,8	2,43	0,04	9,2	штиль	1	4	50
17.03	1,1	1,9	17	5,0	0,55	2,8	2,4	0,18	1,1	штиль	1	3	320
18.03	0,50	0,96	13	2,4	0,52	4,0	2,45	0,13	4,4	снегопад	3	6	140
19.03	0,91	1,8	12	3,4	0,49			0,13	3,5	пасмурно	2	5	100
30.03	0,62	1,9	4	0,68	0,33	4,0	1,3	0,1	6,1	дождливо	1	7	250
31.03	0,43	1,9	11	2,8	0,22	12	1,4	0,08	5,4	без осадков	1,5	4,5	320
01.04	0,71	2,0	9	2,9	0,35	4,6	2,18	0,1	5,1	ясно	1,5	4,5	250
02.04	0,41	1,1	10	3,3	0,37	1,5	1,32	0,03	14	ясно	3,5	7,5	300
03.04	0,35	1,7	12	3,3	0,21	5,1	2,13	0,07	5,9	ясно	1,5	4,5	260
07.04	0,68	1,2	5	1,8	0,58	3,4	1,43	0,11	5,5	ясно	1,5	3,5	230
08.04	0,34	0,51	5	1,5	0,68	2,8	6,79	0,05	7,7	ясно	2	5	35
09.04	0,18	0,33	2	0,62	0,54	1,5	1,41	0,07	8,5	ясно	2	5	170
10.04	0,88	3,0	5	1,4	0,29	4,3	1,66	0,21	2,7	ясно	2,5	5	110
13.04	0,75	2,1	3	0,71	0,36	1,2	1,39	0,18	1,4	ветрено	4	11	140

Продолжение табл. 2

14.04	0,16	0,19	8	1,4	0,82	3,9	1,81	0,12	6,0	без осадков	2	4	180
15.05	0,51	1,5	3,5	0,76	0,33	2,3	1,38	0,3	2,1	без осадков	3	6,5	300
18.05	0,51	1,5	5	1,8	0,34	1,2	1,36	0,19	1,6	без осадков	1,5	6,5	340
19.05	0,12	0,22	3	1,6	0,54	2,3	2,01	0,13	5,4	без осадков	1	3,5	250
21.05	1,74	6,5	5	1,7	0,31	4,1	1,72	0,11	4,1	туман	1,5	3,5	340
22.05	0,27	0,52	3	0,37	0,52	2,4	2,67	0,13	5,4	без осадков	2,5	6,5	
26.05	1,20	2,9	4	1,5	0,40	1,2	1,09	0,19	2,2	ясно	2	6	350
27.05	0,39	1,2	1,6	0,54	0,32	-	-	0,23	3,3	ясно	1	3,5	80
28.05	1,33	3,9	8,0	2,9	0,34	2,1	2,57	0,05	7,9	ясно	1,5	6	320
29.05	0,13	0,20	10,0	4,2	0,65	1,9	1,48	0,06	8,1	без осадков	1,5	5,5	300
09.09	0,24	0,54	4	0,32	0,44	2,4	2,31	0,17	7,4	ясно, жарко	1,5	6,5	110
11.09	0,13	0,27	18	3,6	0,48	1,5	1,36	0,16	1,1	без осадков	1	3,5	20
14.09	0,19	0,72	5,0	1,0	0,26	1,81	1,06	0,13	4,4	жарко	0,5	3,5	100
15.09	0,26	0,62	13,0	3,8	0,42	2,1	2,65	0,12	3,6	без осадков	1	3,5	350
17.09	-	0,07	12	2,4	-	1,6	1,42	0,06	5,4	без осадков	1,5	3	230
02.10	0,49	0,98	3	0,41	0,50	2,4	1,32	0,21	1,3	ветрено	3	9	260
05.10	1,0	1,7	8	1,7	0,61	1,2	3,58	0,24	2,3	ветрено	3	13	280
06.10	1,8	6,3	6,0	1,8	0,28	4,1	2,18	0,06	5,7	ясно	1	3,5	260
06.10	0,35	0,58	8,5	2,5	0,60	2,1	4,54	0,14	2,6	ясно	1,5	5,5	260
06.10	0,86	2,0	9	3,6	0,42	0,96	1,03	0,24	1,4	ясно	1,5	6,5	260
18.11	1,7	4,7	5	1,0	0,36	3,4	2,03	0,13	3,5	ветрено	4	13	280
19.11	0,46	0,69	4	1,3	0,67	1,4	1,1	0,19	3,9	дождливо	3,5	9	200
20.11	0,28	0,53	4	1,0	0,53	1,7	2,05	0,14	5,4	дождливо	1	4,5	275
23.11	0,23	0,38	13	1,6	0,6	2,4	2,66	0,32	1,7	низкая облачн.	2	5,5	200
24.11	0,40	0,54	9	1,1	0,74	4,6	3,08	0,13	5,3	ясно	2	6,5	155
25.11	0,54	0,97	6	2,0	0,56	3,3	1,97	0,03	4,2	дождливо	2,5	7	270
26.11	1,6	1,9	9	2,0	0,82	>8,0	1,46	0,24	2,1	перемен. облачн.	1	4	195
30.11	-	0,18	12	1,5	-	2,0	3,31	0,3	1,3	перемен. облачн.	2,5	6	165
01.12	-	0,24	11	2,9	-	>8,0	1,83	0,27	2,2	ветрено	3	9	130
02.11	0,44	1,3	15	2,6	0,33	>8,0	1,26	0,38	1,2	низкая облачн.	3	7	140
03.12	0,36	0,85	13	2,6	0,42	>8,0	1,25	0,41	1,5	туман	2	6	135

* Дочерние продукты радона и торона.

10 Бк/м³. Лишь в пяти пробах концентрация превышала 10 Бк/м³. В предыдущие годы таких проб было больше, например в 2008 г. – девять. В трех пробах (14 апреля, 17 сентября и 30 ноября) величины $\Sigma\beta$ оказались ниже 0,2 Бк/м³. В предыдущем году минимальная активность была 0,27 Бк/м³. Снижение в 2009 г. концентраций продуктов Чернобыльской аварии связано с менее интенсивными работами внутри объекта «Укрытие», следовательно, и меньшей генерацией аэрозолей. Кроме того, были более мягкие погодные условия. Так, по

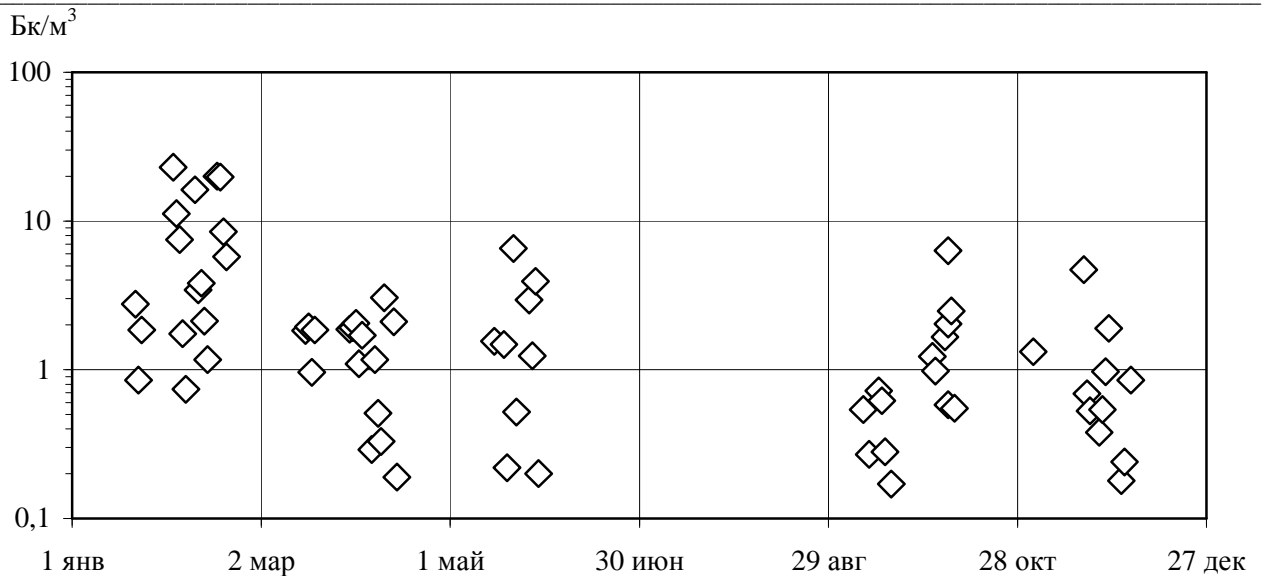


Рис. 3. Объемная активность аэрозолей-носителей суммы бета-излучающих нуклидов в системе "Байпас" объекта "Укрытие" в 2009 г.

данным метеостанции «Чернобыль» в 2008 г. в девяти случаях отбор проб происходил при порывах ветра свыше 9 м/с, а в 2009 г. таких случаев было только шесть. Ранее было установлено, что при порывах ветра во внешней среде более 9 – 10 м/с концентрации аэрозолей-продуктов Чернобыльской аварии существенно увеличиваются [4, 5]. Снижению пылеподъема способствовала также полимерная пленка, образовавшаяся на развале центрального зала за несколько лет работы системы пылеподавления [6].

В одной из наиболее активных проб (2 февраля) при гамма-спектрометрии на полупроводниковом детекторе были одновременно идентифицированы ^{137}Cs и ^{241}Am . Соотношение их концентраций оказалось равно 72, что практически не отличалось от проб, полученных в предыдущие годы.

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 в

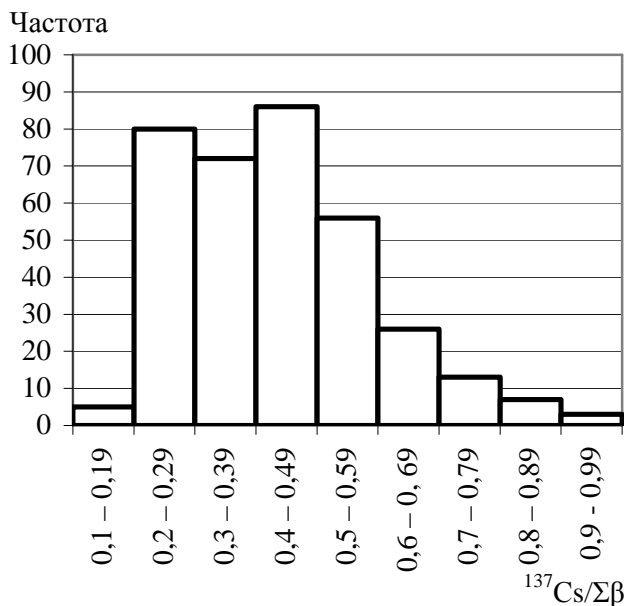


Рис. 4. Гистограмма распределения отношения концентраций $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta$ в системе «Байпас» за 2004 - 2009 гг.

предыдущие годы [1, 2, 7. 8]. Чтобы получить более строгую математическую характеристику, была построена гистограмма распределения отношений концентраций $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta$ за все годы наших наблюдений в системе «Байпас», представленная на рис. 4. Всего обработано 348 результатов, полученных в 2004 – 2009 гг. Далее частотное распределение $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta$ было отображено на графике с вероятностно-логарифмической сеткой (рис. 5). Как видно, точки хорошо легли на прямую линию, из которой следует, что медианное значение $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta = 0,36$. Аналогичным образом были обработаны данные за 2004 г. (79 измерений), 2005 г. (76), за 2008 г. (67) и 2009 г. (59). Получено, что независимо от года наблюдения значения медиан практически совпадают и находятся в диапазоне 0,33 – 0,36. Величина стандартного геометрического отклонения близка к 1,5. Таким образом, в составе бета-

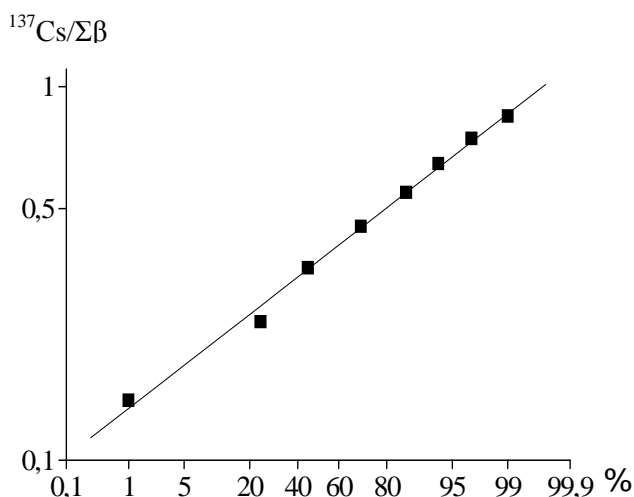


Рис. 5. Распределения отношения концентраций $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta$ в системе «Байпас» за 2004 - 2009 гг.

зарегистрированы во время четырех пробоотборов. Максимальная величина составила $8,8 \text{ Бк}/\text{м}^3$. Во время этих пробоотборов дважды в районе ЧАЭС наблюдался туман и каждый раз практически отсутствовал ветер. Концентрации ^{212}Pb менее $1 \text{ Бк}/\text{м}^3$ наблюдались в девяти случаях, причем минимальная величина составила $0,32 \text{ Бк}/\text{м}^3$. Однако не исключено, что при

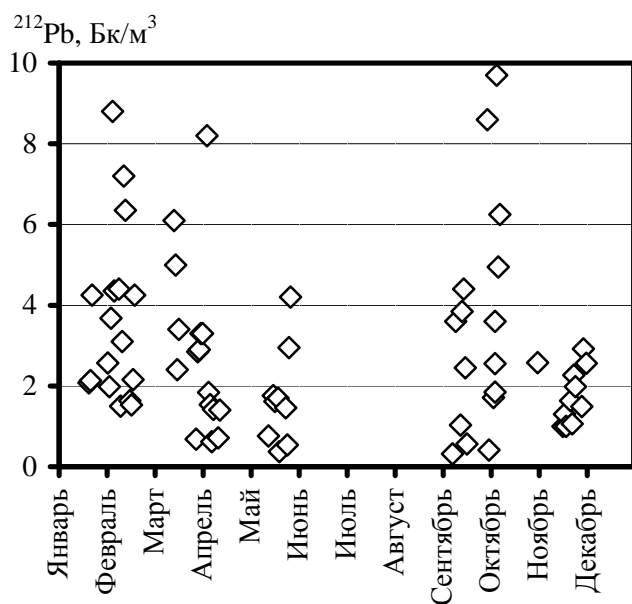


Рис. 6. Объемная активность ^{212}Pb в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2009 г.

отборе этой пробы 9 сентября из-за высокой наружной температуры (в 15 ч было $26,1 \text{ }^\circ\text{C}$) в системе «Байпас» произошла инверсия потока и воздух стал поступать из атмосферы в центральный зал. Это могло привести к разбавлению пробы. Сопоставление данных 2009 г. и шести предыдущих лет показывает, что содержание ^{212}Pb в выбросах через систему «Байпас» практически сохраняется [1, 2, 7, 8]. В публикации [1] мы отмечали, что в феврале – марте 2008 г. при отборе радиоактивных аэрозолей в помещениях 207/4 и 318/2 сотрудниками отделения радиационных технологий, материаловедения и экологических исследований ИПБ АЭС НАН Украины зарегистрированы концентрации ^{212}Pb в диапазоне $2 - 3 \text{ Бк}/\text{м}^3$ [9]. Это практически совпадало с нашими результатами, полученными в тот же период в системе «Байпас» [1]. В 2009 г. наши коллеги вели наблюдения за радиоактивными аэрозолями в помещениях 304/3 и 305/2 [10]. Полученные ими данные приведены на рис. 7. Как видно, и в 2009 г. концентрации ^{212}Pb практически не отличаются от значений, найденных нами в системе «Байпас». Таким образом, совпадающие или близкие значения содержаний ^{212}Pb на нижних отметках объекта «Укрытие» и в выбросах из центрального зала через систему «Байпас» свидетельствуют об образовании этого радиоизотопа при распаде торона преимущественно в нижней части объекта «Укрытие». Возможно, одним из источников торона является ^{232}U , накопившийся в ядерном топливе за 2,5 года эксплуатации 4-го энергоблока ЧАЭС [11].

активных аэрозолей-продуктов Чернобыльской аварии, выбрасываемых в атмосферу через систему «Байпас», треть приходится на ^{137}Cs .

Концентрации аэрозолей-носителей ДПР, 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. 6 следует, что в большинстве случаев концентрации ^{212}Pb находились в диапазоне $1 - 5 \text{ Бк}/\text{м}^3$. Объемные активности ^{212}Pb свыше $5 \text{ Бк}/\text{м}^3$ были зарегистрированы во время четырех пробоотборов. Максимальная величина составила $8,8 \text{ Бк}/\text{м}^3$. Во время этих пробоотборов дважды в районе ЧАЭС наблюдался туман и каждый раз практически отсутствовал ветер. Концентрации ^{212}Pb менее $1 \text{ Бк}/\text{м}^3$ наблюдались в девяти случаях, причем минимальная величина составила $0,32 \text{ Бк}/\text{м}^3$. Однако не исключено, что при отборе этой пробы 9 сентября из-за высокой наружной температуры (в 15 ч было $26,1 \text{ }^\circ\text{C}$) в системе «Байпас» произошла инверсия потока и воздух стал поступать из атмосферы в центральный зал. Это могло привести к разбавлению пробы.

Сопоставление данных 2009 г. и шести предыдущих лет показывает, что содержание ^{212}Pb в выбросах через систему «Байпас» практически сохраняется [1, 2, 7, 8]. В публикации [1] мы отмечали, что в феврале – марте 2008 г. при отборе радиоактивных аэрозолей в помещениях 207/4 и 318/2 сотрудниками отделения радиационных технологий, материаловедения и экологических исследований ИПБ АЭС НАН Украины зарегистрированы концентрации ^{212}Pb в диапазоне $2 - 3 \text{ Бк}/\text{м}^3$ [9]. Это практически совпадало с нашими результатами, полученными в тот же период в системе «Байпас» [1]. В 2009 г. наши

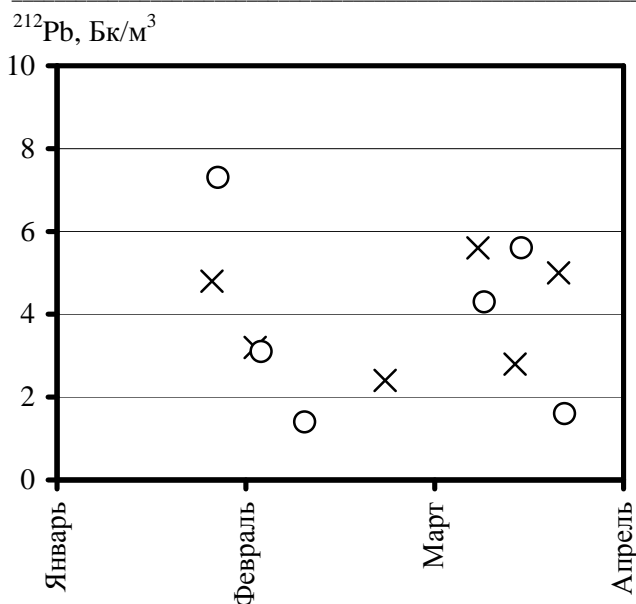


Рис. 7. Объемная активность ^{212}Pb в помещениях объекта «Укрытие» в 2009 г.:
X – 304/3; O – 305/2.

По-иному вели себя аэрозоли-носители ^{212}Pb (дочерний продукт торона), имеющего период полураспада 10,64 ч. Их концентрация от пробы к пробе возрастала: сначала 1,8, затем 2,6 и, наконец, 3,6 Бк/м³. При этом дисперсность непрерывно увеличивалась с АМАД 0,06 до 0,24 мкм (см. табл. 2).

Причины изменений характеристик аэрозолей, отбираемых из системы «Байпас», вероятнее всего связаны с режимами воздухообмена в объекте «Укрытие». Так, в 09 ч скорость потока в системе «Байпас» составляла 2,2 м/с, в 13 ч уменьшилась до 1,5 м/с и в 15 ч – до 1,2 м/с. Убыль скорости приводила к уменьшению пылеподъема внутри объекта «Укрытие» и, следовательно, снижению $\Sigma\beta$. Но одновременно уменьшалось разбавление эманулирующих благородных газов, а следовательно, увеличивались концентрации ^{212}Pb и ДПР.

Динамика вентиляционного потока

В 2009 г. при отборах аэрозолей в системе «Байпас» было обращено более пристальное внимание на динамику вентиляционного потока, в частности зависимости его скорости от температуры наружного воздуха.

По данным метеостанции «Чернобыль» в первой декаде апреля наблюдались высокие колебания суточных температур воздуха (рис. 8). Наибольшая разница между максимальной дневной и минимальной ночной температурами была зафиксирована 6 – 7 апреля, когда воздух с 21 °С охладился до -0,5 °С. В это же время внутри объекта «Укрытие» сохранялись «зимние» температуры. Как следует из рис. 8, с 1 по 14 апреля на отметке +34,5 м, где в перекрытии центрального зала стационарно находилась термопара, температура была близка к 0 °С, хотя день за днем возрастала с 1,7 до 3,6 °С. Термопара располагалась в конце скважины Ю.22.129, которая из помещения 515/3 (с отметки +22 м) была пробурена на север и заканчивалась у лестницы 709/2 на глубине 0,5 м от пола центрального зала. Координаты термопары: ряд К^{+3,1}; ось 43-2,25. Наряду с метеостанцией «Чернобыль» данные о состоянии воздушной среды получали с метеопункта «ОРУ-750», находящегося в 0,5 км к югу от объекта «Укрытие». Сопоставление этих данных показало, что на метеостанции «Чернобыль» температура воздуха была систематически на один–полтора градуса выше.

Во время отбора проб аэрозолей из системы «Байпас» скорость потока, поступающего

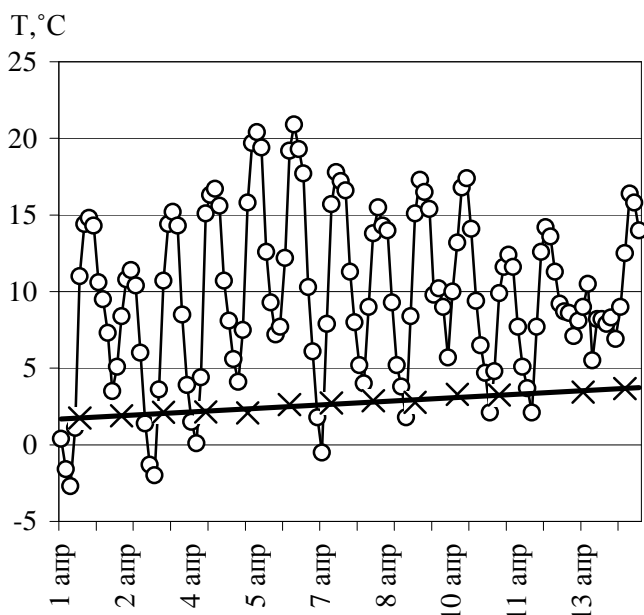


Рис. 8. Температура воздуха 1 - 14 апреля 2009 г.: ○ - на метеостанции «Чернобыль»; × - в центральном зале объекта «Укрытие» (канал 55).

разности температур внутри и вне помещения. Поэтому для выявления связи скорости потока в системе «Байпас» с разностью температур снаружи и внутри объекта «Укрытие» были обработаны записи температур по каналу 55. После вычитания этих данных из показаний температур, зафиксированных на метеопункте «ОРУ-750», был получен график, представленный на рис. 10. Как видно, точки расположились более компактно, чем на рис. 9. Они были аппроксимированы прямой линией. Из этого следует, что изменение температуры на 1 °С приводит к изменению скорости на 0,1 м/с. Пересечение этой линии с осью абсцисс позволяет заключить, что вытяжка воздуха через систему «Байпас» прекращается (скорость потока равна 0), если разность температур снаружи и внутри достигает примерно 20 °С.

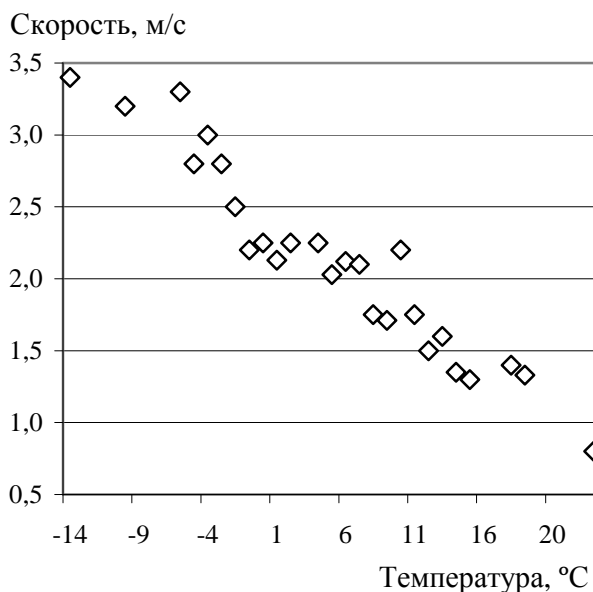


Рис. 9. Скорости потока в системе «Байпас» в зависимости от температура наружного воздуха в январе – декабре 2009 г.

из центрального зала, регулярно контролировали по показаниям стационарного расходомера. На рис. 9 приведены эти скорости с января по декабрь 2009 г. в зависимости от температуры наружного воздуха. Хотя точки имеют значительный разброс, прослеживается четкая тенденция: повышение температуры на один градус приводит к снижению скорости потока в системе «Байпас» примерно на 0,1 м/с. Таким образом, например в апреле, при разнице дневных и ночных температур 15 – 20 °С (см. рис. 8) скорости потока (следовательно, и объем выносимого из центрального зала воздуха) менялись примерно в два раза. Причем ночью, когда наружная температура, как правило, ниже дневной, количество выбрасываемого воздуха увеличилось.

Как известно из теплотехники, тяга в печных трубах зависит от положительной разности температур внутри и вне помещения. Поэтому для выявления связи скорости потока в системе «Байпас» с разностью температур снаружи и внутри объекта «Укрытие» были обработаны записи температур по каналу 55. После вычитания этих данных из показаний температур, зафиксированных на метеопункте «ОРУ-750», был получен график, представленный на рис. 10. Как видно, точки расположились более компактно, чем на рис. 9. Они были аппроксимированы прямой линией. Из этого следует, что изменение температуры на 1 °С приводит к изменению скорости на 0,1 м/с. Пересечение этой линии с осью абсцисс позволяет заключить, что вытяжка воздуха через систему «Байпас» прекращается (скорость потока равна 0), если разность температур снаружи и внутри достигает примерно 20 °С.

Снижение, а тем более прекращение тяги в системе «Байпас» – нежелательное явление, поскольку приводит к застою воздуха и накоплению в помещениях объекта «Укрытие» радона и торона. Естественно, если в это время внутри объекта «Укрытие» ведутся работы с интенсивным образованием аэрозолей, то их концентрация также будет повышаться. В 2009 г. такие «застойные» ситуации складывались 5 и 6 апреля, 22, 27 и 31 мая, 10 сентября.

Из технических характеристик расходомера, размещенного в системе «Байпас», следует, что при скоростях менее 1 м/с показания становятся ненадежными. Кроме того, сам поток становится неустойчивым. Разброс точек на рис. 9 и 10 связан также с тем, что из-за пульсаций потока даже при скоростях свыше 1 м/с показания прибора все время отклоняются от средней величины на ±0,2 м/с. К тому же

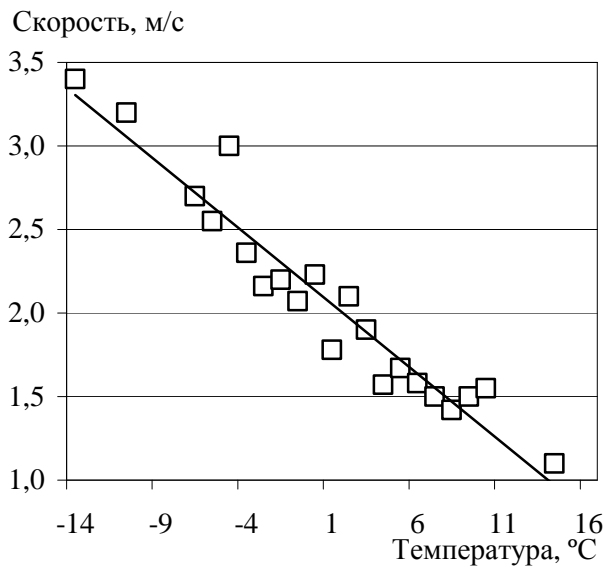


Рис. 10. Скорости потока в системе «Байпас» в зависимости от разности температур воздуха снаружи и внутри объекта «Укрытие» в январе – декабре 2009 г.

температура на срезе вентиляционной трубы ВТ-2 несколько отличается от той, которую фиксируют на метеопункте «ОРУ-750» или на метеостанции «Чернобыль». Еще одна неопределенность связана с тем, насколько адекватно использовать в качестве температуры внутри объекта «Укрытие» данные термодатчиков, расположенной в перекрытии центрального зала. Ясно, что в других помещениях температуры могут несколько отличаться. К сожалению, в самой системе «Байпас» температурных датчиков нет.

Дисперсность радиоактивных аэрозолей

Расчет дисперсного состава аэрозолей был выполнен в соответствии с методикой [12]. На рис. 11 приведены активностные медианные аэродинамические диаметры (АМАД), рассчитанные для 62 проб из распределения $\Sigma\beta$ по слоям пакета фильтров.

Как правило, носителями радионуклидов-продуктов Чернобыльской аварии были частицы с АМАД 2 – 5 мкм. Однако в двенадцати пробах АМАД превосходил 5 мкм, из них в шести – 8 мкм.

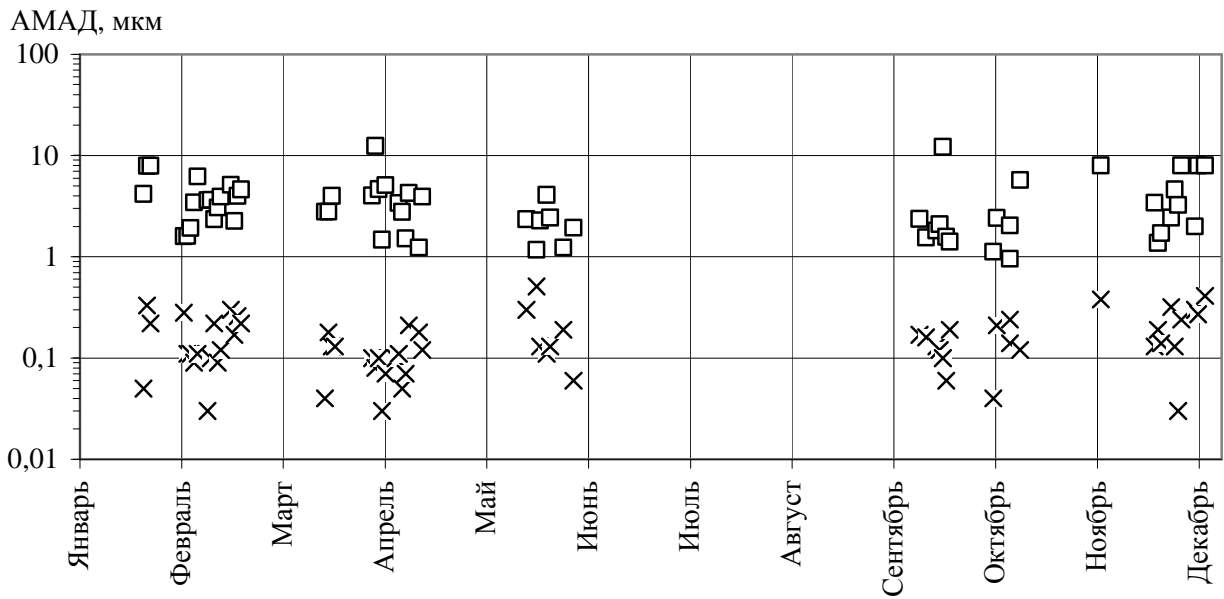


Рис. 11. АМАД носителей радионуклидов-продуктов Чернобыльской аварии (□) и ДПР (×) в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2009 г.

В нескольких наиболее активных пробах, отобранных в феврале, помимо $\Sigma\beta$ были выполнены послойные измерения ^{137}Cs на сцинтилляционном гамма-спектрометре. Из результатов, представленных в табл. 3, следует, что в каждой отдельной пробе распределения $\Sigma\beta$ и ^{137}Cs практически совпадали, хотя от пробы к пробе они менялись.

Следовательно, радиоактивные вещества в каждом пробоотборе находились на частицах одинаковых размеров, а точнее – на одних и тех же частицах. Таким образом, сепарации радионуклидов-продуктов аварии по частицам различных размеров не было. Это отмечалось и ранее.

Таблица 3. Доля (%) радиоактивных веществ на слоях пакетов фильтров, величины АМАД и стандартные геометрические отклонения (σ) при отборе проб из системы «Байпас» в 2009 г.

Слой	2 февраля		3 февраля		4 февраля		16 февраля		17 февраля	
	$\Sigma\beta$	^{137}Cs	$\Sigma\beta$	^{137}Cs	$\Sigma\beta$	^{137}Cs	$\Sigma\beta$	^{137}Cs	$\Sigma\beta$	^{137}Cs
1-й (голубой)	81,4	79,9	77,3	81,2	87,1	88,5	96,0	94,5	87,6	87,6
2-й (розовый)	16,6	17,0	18,5	17,5	12,8	11,3	3,7	5,1	10,6	9,7
3-й (белый)	2,0	3,1	4,2	1,3	0,1	0,2	0,3	0,4	1,8	2,7
АМАД, мкм	1,6	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	5,2	3,9	2,2	1,9
σ	1,6	1,3	1,8	1,4	2,1	1,4	1,9	1,7	1,9	2,3

Как и в предыдущие годы, ДПР были ассоциированы преимущественно с аэрозольными частицами, имевшими АМАД в диапазоне 0,05 – 0,3 мкм. Лишь в одной пробе АМАД был 0,41 мкм и в четырех – 0,03 – 0,04 мкм. Подобная дисперсность присуща не только аэрозолям-носителям ДПР в объекте «Укрытие», но и в других помещениях. Например, в публикации [13] представлены АМАД аэрозолей-носителей ^{212}Pb , полученные в жилых помещениях г. Геттинген и его окрестностей с помощью пятикаскадного импактора (с фильтром на шестой ступени) производительностью 60 м³/ч:

Место отбора	АМАД, мкм	σ
Город	0,25	2,42
Город	0,29	2,11
Город	0,14	3,15
Пригород	0,20	2,55
Пригород	0,23	2,09
Пригород	0,21	2,09
Пригород	0,12	5,34
Пригород	0,13	3,81
Пригород	0,22	2,42
Пригород	0,24	2,83

Как следует из приведенных данных, величины АМАД находились в диапазоне 0,12 – 0,29 мкм при среднем значении 0,2 мкм.

Еще одно исследование было выполнено в Голландии [14], где определяли дисперсность аэрозолей-носителей ДПР в зависимости от деятельности жильцов дома:

Вид деятельности	АМАД, мкм	σ
Отдых	0,32	2,08
Отдых	0,29	2,22
Отдых	0,24	1,93
Ходьба	0,16	2,16
Ходьба	0,17	2,35
Ходьба	0,15	1,97
Уборка пылесосом	0,09	2,09
Приготовление пищи	0,17	1,94
Курение	0,23	1,70
Курение	0,40	2,17

Из представленных результатов следует, что величины АМАД колебались от 0,09 до 0,4 мкм, причем при передвижении жильцов, уборке помещения пылесосом, приготовлении пищи и курении мало отличались от тех, которые наблюдались при отсутствии деятельности (отдыхе). Среднее значение АМАД для 10 экспериментов составило 0,17 мкм.

Как следует из приведенных данных, дисперсный состав аэрозолей-носителей ДПР практически не отличался от того, который был получен в объекте «Укрытие». Это свидетельствовало об одинаковых механизмах образования носителей продуктов распада естественных радиоактивных благородных газов и сходном поведении в закрытых помещениях.

Заключение

Подводя итог наблюдениям 2009 г., можно констатировать следующее. Наблюдается снижение величины годового неорганизованного выброса радиоактивных аэрозолей через отверстия и проемы на верхних отметках объекта «Укрытие» по сравнению с предыдущими годами. Отмечено снижение концентраций радионуклидов, поступающих с аэрозолями из центрального зала 4-го блока в систему «Байпас», а затем трубу ВТ-2, по сравнению с 2004 – 2008 гг. [1, 2, 7, 8,]. Более низкие значения концентрации аэрозолей-носителей смеси бета-излучающих нуклидов-продуктов аварии ($\Sigma\beta$), на наш взгляд, связаны с менее интенсивными работами внутри объекта «Укрытие», а следовательно, и меньшей генерацией аэрозолей. Кроме того, в 2009 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 2 – 5 мкм.

Концентрации ^{212}Pb оставались практически такими же, как в 2008 г. и ранее, поскольку на них практически не 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.

Выявлена связь скорости потока в «Байпасе» с разностью температур снаружи и внутри объекта «Укрытие»: изменение температуры на 1 °С приводит к изменению скорости примерно на 0,1 м/с. Выброс воздуха через систему «Байпас» прекращается (скорость потока равна 0), если разность температур снаружи и внутри достигает примерно 20 °С. Снижение, а тем более прекращение тяги – нежелательное явление, поскольку приводит к застою воздуха и накоплению в помещениях объекта «Укрытие» радона и торона. Естественно, если в это время внутри объекта «Укрытие» производятся работы с интенсивным образованием аэрозолей, то их концентрация также будет повышаться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К. и др. Контроль выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2008 г. // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. - 2009. - Вип. 12. - С. 154 - 162.
2. Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К. и др. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2006 г. // Там же. - 2007. - Вип. 7. - С. 116 - 121.
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. 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.
5. Огородников Б.И., Павлюченко Н.И., Будыка А.К. Выброс радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» при сильных ветрах // Радиационная биология. Радиэкология. – 2004. – Т. 44, № 4. – С. 421 – 433.
6. 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.
7. Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К. и др. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2005 г. // Там же. – 2006. – Вип. 6. – С. 85 – 94.
8. Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К. и др. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2007 г. // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. - 2008. - Вип. 9. - С. 48 - 53.
9. Бадковский В.П., Ключников А.А., Кравчук Т.А. и др. Мониторинг аэрозольной обстановки в некоторых подреакторных помещениях объекта «Укрытие» // Там же. – 2008. – Вип. 10 - С. 99 - 110.

10. *Бадовский В.П., Ключников А.А., Кравчук Т.А. и др.* Исследование характеристик аэрозолей в содержащих топливо помещениях объекта «Укрытие» // Там же . - 2009. - Вып. 12. – С. 103 – 112.
11. *Огородников Б.И., Бudyка А.К., Хан В.Е. и др.* Дополнительный фактор радиационной опасности в объекте «Укрытие» – ^{220}Rn // Радиохимия. – 2009. – Т. 51, № 4. – С. 344 – 352.
12. *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.
13. *Becker K.H., Reineking A., Scheibel H.G., Porstendörfer J.* Radon daughter activity size distributions // Radiation Protection Dosimetry. – 1984. – Vol. 7, No. 1 – 4. – P. 147 – 150.
14. *Stoute J.R.D., Groen G.C.N., de Groot T.J.N.* Characterisation of indoor atmospheres // Ibid. – P. 159 – 163.

КОНТРОЛЬ ВИНЕСЕННЯ РАДІОАКТИВНИХ АЕРОЗОЛІВ З ОБ'ЄКТА "УКРИТТЯ" В 2009 Р.

В. Є. Хан, Б. І. Огородников, О. К. Калиновський, В. О. Краснов

Наведено результати контролю викиду радіоактивних аерозолів з об'єкта "Укриття" в 2009 р. Максимальна швидкість неорганізованого викиду радіоактивних аерозолів з об'єкта «Укриття» спостерігалася в осінній та зимовий періоди й досягала 2,5 МБк/доб. Концентрації аерозолів-носіїв бета-випромінюючих нуклідів, що поступали в атмосферу через систему «Байпас», знаходилися в діапазоні 1 – 10 Бк/м³. Їх носіями були частинки з АМАД 2 - 5 мкм. Концентрація ^{212}Pb - дочірнього продукту торону - становила, як правило, 1 – 5 Бк/м³. Його носіями були частинки з АМАД 0,05 - 0,3 мкм. Об'ємні активності та дисперсність аерозолів у викидах з об'єкта «Укриття» залишаються практично стабільними впродовж останніх п'яти років. Виявлено зв'язок швидкості потоку в системі «Байпас» з різницею температур зовні й усередині 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, швидкість потоку.

CONTROL OF RELEASES OF RADIOACTIVE AEROSOLS FROM OBJECT "UKRYTTYA" IN 2009

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

The maximal rate of unorganized releases of beta-radiating products of Chernobyl accident from object "Ukryttya" in 2009 was in autumn and winter period, and reached 2.5 MBq/m³. The concentration of long-lived beta-radiating aerosols released in atmosphere from system "Bypass" was within the range 1 – 10 Bq/m³. Their carriers were particles with active median aerodynamic diameter (AMAD) 2 – 5 μm. The concentration of ^{212}Pb – 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 five years. 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, flow speed.

Поступила в редакцію 18.02.10