

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 2014 г.

Представлены результаты контроля выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2014 г. Максимальная скорость неорганизованного выброса бета-излучающих продуктов Чернобыльской аварии наблюдалась в зимний период и достигала 3,6 МБк/сут. Концентрации суммы долгоживущих бета-излучающих аэрозолей, поступавших в атмосферу через систему «Байпас», находились, как правило, в диапазоне 0,3 – 5 Бк/м³ (максимальная концентрация 14 Бк/м³). Их носителями в большинстве случаев были частицы с активностным медианным аэродинамическим диаметром (АМАД) 0,6 – 6 мкм. Средние значения отношений концентрации радионуклидов-продуктов Чернобыльской аварии составили: $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am} = 97$ и $^{241}\text{Am}/^{154}\text{Eu} = 6,2$. Концентрации ^{212}Pb – дочернего продукта торона составляли, как правило, 0,8 – 4 Бк/м³. Носителями дочерних продуктов радона и торона (ДПР) были преимущественно частицы с АМАД 0,06 – 0,3 мкм. Показано, что соотношение концентраций ДПР и ^{212}Pb в воздушном потоке, выбрасываемом в атмосферу через систему «Байпас», остается постоянным и близко к 4. Дисперсность аэрозолей в выбросах из объекта «Укрытие» остаются практически стабильными на протяжении последних 10 лет.

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

Введение

В 2014 г. был продолжен 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 радиационной обстановки внутри объекта «Укрытие» и его влияния на окружающую среду, так и решения 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 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 2014 г. по 31 декабря составил 3,1 и 214 МБк соответственно (табл. 1). Сумма альфа-излучателей включает изотопы ^{240}Pu , ^{239}Pu , ^{238}Pu , ^{241}Am , а сумма бета-излучателей - изотопы ^{137}Cs , $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, ^{241}Pu . Активность изотопов плутония определялась расчетным методом с использованием коэффициента пропорциональности между плутонием и ^{241}Am для базового состава облученного топлива 4-го энергоблока [4]. Активность $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ также определялась расчетным методом по активности ^{137}Cs 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 3,6 МБк/сут за время экспозиции планшетов с 13 марта по 4 апреля. Повышение скорости выброса в указанный период обусловлено метеорологическими параметрами. В марте зарегистрировано максимальное в 2014 г. количество случаев (13 %), характерных для экстремальных метеорологических ситуаций, когда скорость ветра за трехчасовой период усреднения превышает 5 м/с. Продолжительность периодов экстремальных синоптических ситуаций в марте также была максимальной и составляла 45 ч.

© В. Е. Хан, Б. И. Огородников, А. К. Калиновский, В. А. Краснов, 2015

В сочетании с резкими и частыми порывами ветра до 13 м/с и разностью температур внутри и снаружи объекта «Укрытие» (температура внутри объекта была выше, чем в окружающей среде) это создавало условия для выноса радиоактивных частиц. 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 радиоактивных аэрозолей в период январь – март, который составлял (МБк): 360 в 2010 г.; 290 в 2011 г.; 180 в 2012 г.; 140 в 2013 г.; 120 в 2014 г.

Таблица 1. Оценка выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2014 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
03.12.2013	43	0,023	0,34	1,39	21
15.01	28	0,017	0,82	1,21	55
12.02	29	0,002	0,88	0,11	58
13.03	20	0,057	2,08	3,55	132
03.04	41	0,004	2,23	0,24	142
14.05	21	0,003	2,30	0,20	146
04.06	29	0,005	2,44	0,30	155
03.07	34	0,001	2,48	0,07	158
06.08	28	0,002	2,54	0,19	163
03.09	28	0,008	2,78	0,72	183
01.10	35	0,004	2,93	0,41	198
05.11	27	0,002	3,00	0,33	206
02.12	21	0,002	3,09	0,14	209
23.12	44	0,008	3,10	0,50	214
Среднее		0,0099	–	0,67	–

Повышение величины неорганизованного выброса в сентябре 2014 г. (20 МБк по сумме бета-излучения) вызвано в первую очередь сезонными факторами (см. рис. 1).

На рис. 2 представлена динамика неорганизованного выброса радиоактивных аэрозолей через щели в кровле объекта «Укрытие» в период 1998 – 2014 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 по-

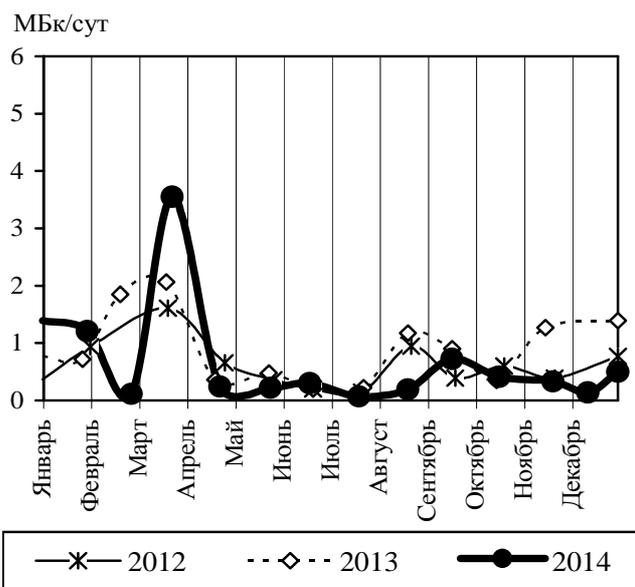


Рис. 1. Динамика неорганизованного выброса бета-активных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2012 – 2014 гг.

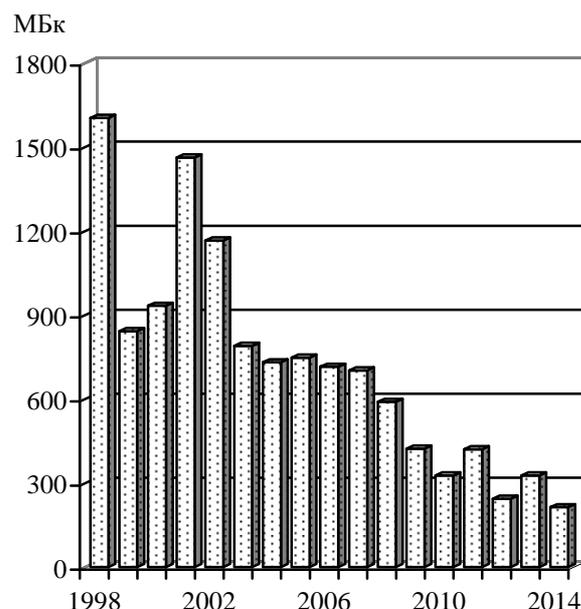


Рис. 2. Динамика неорганизованного выброса бета-активных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 1998 – 2014 гг.

следующие 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 (НВТ). 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 аэрозоля. Это внесло дополнительный вклад в общую величину неорганизованного выброса аэрозолей. Существенное повышение выброса в ноябре 2013 г. по сравнению с 2012 г. вызвано проведением работ по демонтажу вентиляционной трубы ВТ-2. Неорганизованный выброс радиоаэрозолей в 2014 г. был наименьшим за все годы наблюдений.

Результаты контроля выброса радиоактивных аэрозолей в системе «Байпас»

В 2014 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 НВТ («организованный» выброс) [2].

Наблюдение за вентиляционным потоком в системе «Байпас»

Необходимо отметить, что в конце августа 2013 г. было перекрыто устье вентиляционной трубы ВТ-2 и воздушные потоки пошли через НВТ. Она была сооружена в связи со строительством нового безопасного конфайнмента. Устье НВТ смещено на 5 м юго-восточнее устья ВТ-2. НВТ имеет меньший диаметр и примерно на 15 м ниже старой. Наблюдения осенью 2013 г. [1] показали, что создание НВТ не очень сильно отразилось на выбросе через систему «Байпас» аэрозолей-носителей продуктов Чернобыльской аварии, а также дочерних продуктов радона и торона (ДПР). Однако в публикации [1] на рис. 4 видно, что концентрации радионуклидов чернобыльского генезиса, зарегистрированные в сентябре-декабре 2013 г., оказались все же несколько ниже, чем в первой половине года. Одной из причин этого могло стать уменьшение тяги воздуха в НВТ по сравнению с ВТ-2.

Как известно из теплотехники, тяга в печных трубах зависит от разности температур внутри и вне помещения. Еще в 2009 г. наблюдения в системе «Байпас» показали, что изменение разности температур снаружи и внутри на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводило к изменению скорости потока в ВТ-2 на $0,1\text{ м/с}$ [6], а при разности температур около $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ тяга в системе «Байпас» прекращалась. В связи с этим в 2014 г. было организовано наблюдение за скоростью воздушного потока в системе «Байпас» при различных температурах наружного воздуха. Было установлено, что с НВТ тяга в системе «Байпас» прекращалась уже при разности температур около $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом, после введения в эксплуатацию НВТ неблагоприятная обстановка для проветривания помещений объекта «Укрытие» начинает складываться при меньшей разности температур снаружи и внутри, чем при ВТ-2.

В 2014 г. уже в середине апреля в некоторые дни температура наружного воздуха в послеполуденные часы стала превышать $17\text{--}18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и, судя по датчикам расхода воздуха в системе «Байпас», тяга воздуха прекращалась. Возможно, что поток даже «переворачивался». Но, к сожалению, датчики расхода не фиксируют его направление. С середины мая сложилась ситуация, когда атмосферный воздух стал прогреваться выше $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ даже в утренние часы (рис. 3). Например, 19 мая в 16 и 17 ч системой «Rados» ГСП ЧАЭС была зафиксирована температура воздуха $27,5$ и $26,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно. Практически синхронно на метеостанции «Чернобыль», расположенной в 18 км на юго-восток от ЧАЭС, в 15 и 18 ч воздух имел температуру $26,9$ и $27,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Как видно на рисунке, высокие температуры держались до конца мая. Поэтому в эти дни, а затем и в первой декаде июня пробы аэрозолей из системы «Байпас» не отбирали.

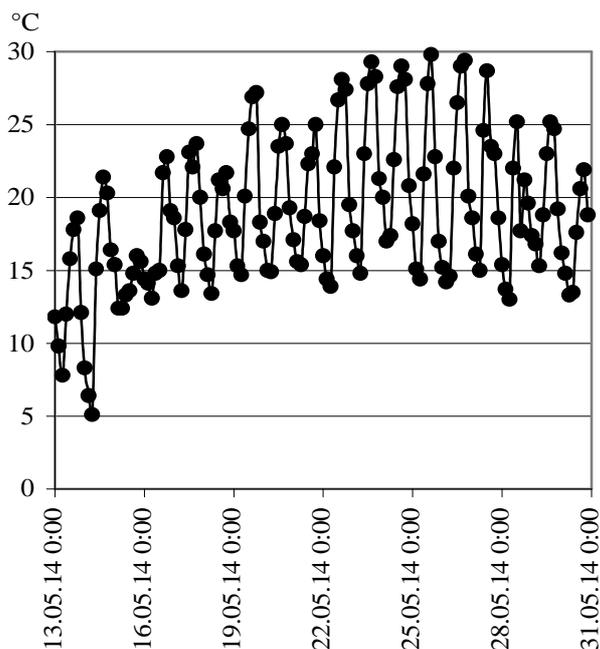


Рис. 3. Температура воздуха по данным метеостанции «Чернобыль» в мае 2014 г.

Организация и выполнение отбора проб аэрозолей

Пробы аэрозолей из системы «Байпас» отбирали через люк, имеющийся в помещении 2016/2 (3-й блок ЧАЭС, высотная отметка +45 м). В качестве асиратора использовали воздуходувку Н810 (рис. 4), которую присоединяли к изокинетическому пробозаборнику, находящемуся в трубопроводе диаметром 1,4 м. Использовали пакеты трехслойных волокнистых фильтров Петрянова: 1-й слой – ФПА-70-0,12; 2-й слой – ФПА-70-0,2; 3-й слой – из двух фильтров (АФА РСП-20 и АФА РМП-20). Такая композиция позволяет более полно улавливать субмикронные аэрозоли, в том числе ДПР, а



Рис. 4. Отбор пробы аэрозолей воздуходувкой Н810 SAIC в системе «Байпас».

также определять дисперсность частиц-носителей радионуклидов. Основы отбора проб с использованием пакетов трехслойных волокнистых фильтров Петрянова изложены в монографии [2].

Пакет площадью 20 см^2 размещали в фильтродержателе воздуходувки Н810 SAIC, которая используется в регламентном контроле радиоактивных аэрозолей в помещениях объекта «Укрытие», проводимом специалистами ЦРБ ЧАЭС. Линейная скорость прокачки воздуха составляла около 90 см/с . Для обеспечения изокинетичности отбора аэрозолей из вентиляционного потока перед пакетом устанавливали конусную насадку. Она имела длину 140 мм и площадь входного отверстия $3,8 \text{ см}^2$.

Измерения бета-активности проб выполняли на радиометре КРК-1, находящемся в помещении Г328 объекта «Укрытие». Бета-активность на каждом слое пакета определяли дважды: сразу после окончания отбора проб, что позволило рассчитать количества короткоживущих ДПР, и спустя 4 – 5 сут, что позволило определить сумму долгоживущих бета-излучающих нуклидов ($\Sigma\beta$)-продуктов Чернобыльской аварии. Кроме того, в ряде проб при гамма-спектрометрии слоев измерено содержание ^{137}Cs , ^{154}Eu и ^{241}Am .

Концентрации аэрозолей-носителей продуктов аварии 4-го блока ЧАЭС

В табл. 2 представлены данные о концентрациях и дисперсном составе радиоактивных аэрозолей, а также метеословиях. Всего проанализировано 57 проб. Как следует из таблицы и рис. 5, концентрация $\Sigma\beta$, представленная $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ и ^{137}Cs изменялась от $0,15$ до 14 Бк/м^3 . Наиболее часто (86 % проб) величина $\Sigma\beta$ находилась в диапазоне $0,3 - 5 \text{ Бк/м}^3$. Лишь в двух пробах концентрация превышала 10 Бк/м^3 . Для сравнения отметим, что в 2008 и 2013 гг. таких проб было по 9, в 2010 г. – 8, в 2011 г. – 5 и в 2012 г. – 1.

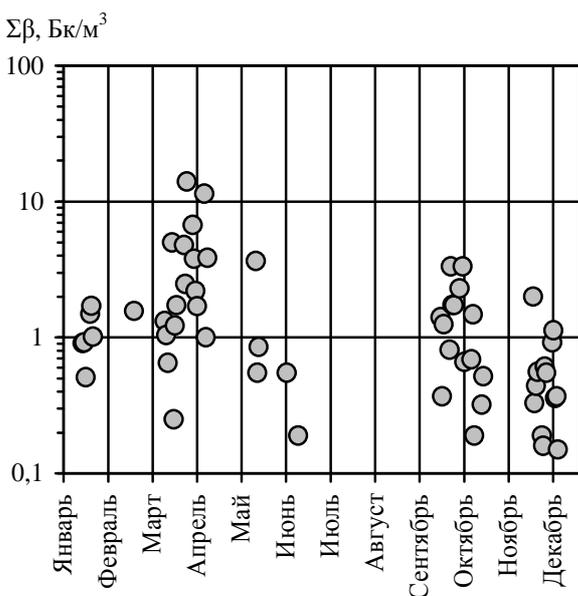


Рис. 5. Объемная активность аэрозолей-носителей суммы бета-излучающих нуклидов в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2014 г.

Всего шесть проб имели концентрации ниже $0,3 \text{ Бк/м}^3$. Минимальная величина $\Sigma\beta$ составила $0,15 \text{ Бк/м}^3$ и практически совпала с тем, что наблюдали годом ранее ($0,16 \text{ Бк/м}^3$).

Таким образом, концентрации $\Sigma\beta$ в 2014 г. не претерпели существенных изменений по сравнению с предыдущим годом.

Наиболее высокая объемная активность аэрозолей наблюдалась в пробе, отобранной 27 марта (14 Бк/м^3). Интересно, что в 2013 г. максимальные концентрации 100 и 55 Бк/м^3 были зарегистрированы также в марте (18 и 19 марта). Но, как видим, они были существенно больше, чем в отчетном году. Тогда причину значительного количества радиоактивных веществ установить не удалось [1]. Исходя из наблюдений нынешнего года и предыдущих лет, высокие концентрации в 2013 г., очевидно, были связаны с какими-то процессами, имевшими место в помещениях объекта «Укрытие», в частности в развале центрального зала, где могли произойти колебания старых строительных кон-

струкций.

Таблица 2. Данные мониторинга радиоактивных аэрозолей в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2014 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
15.01	0,40	0,91	10	2,1	0,44	1,3	3,1	0,19	2,9		2	6	165
16.01	0,34	0,92	7,2	1,0	0,37	1,0	1,1	0,11	4,5		3,0	6,5	320
17.01	0,33	0,51	5,6	0,8	0,65	1,5	1,4	0,24	2,6		1,0	2,0	325
20.01	0,49	1,5	5,8	1,3	0,33	3,2	2,9	0,22	2,9		2	7,5	80
21.01	0,84	1,7	6,2	1,2	0,49	3,5	2,6	0,18	7,8		2,5	7,0	90
22.01	0,38	1,0	5,3	1,4	0,38	>8	-	0,17	3,9		1,0	4,5	85
19.02	0,50	1,6	-	-	0,32	-	-	-	-	штиль	-	-	-
12.03	0,69	1,3	7,9	2,8	0,52	>8	-	0,09	8,3		2,5	6,0	340
13.03	0,42	1,0	4,4	1,2	0,40	2,9	3,1	0,23	1,1		1,5	4,0	300
14.03	0,29	0,7	3,4	1,1	0,45	1,6	1,4	0,15	5,3		3,0	8,0	275
17.03	1,7	5,0	3,8	1,4	0,34	1,3	2	0,08	5,9		3,0	10,5	235
18.03	0,071	0,25	3,6	1,1	0,28	1,2	2,0	0,25	3,2		4,0	12,5	290
19.03	0,64	1,2	5,7	1,0	0,52	>8	-	0,47	2,8		2,0	6,5	235
20.03	0,52	1,7	8,0	2,7	0,30	6,1	2,2	0,21	2,9		4,0	9,5	260
25.03	2,3	4,8	5,1	1,7	0,47	4,5	2,1	0,03	15		3,0	7,0	130
26.03	1,2	2,5	11	1,8	0,50	5,4	2,8	0,19	1,2		2,0	5,5	70
27.03	3,3	14	26	8,6	0,24	7,8	1,6	0,13	3,2		2,0	6,5	85
31.03	2,0	6,7	1,6	0,61	0,29	4,4	2,2	0,29	3,4		-	-	-
01.04	2,2	3,8	4,1	1,2	0,58	4,5	2,6	0,22	12		2,0	6,5	345
02.04	0,59	2,2	6,0	1,6	0,27	0,6	1,1	0,20	2,8		1,5	5,5	340
03.04	0,70	1,7	7,2	2,1	0,41	1,5	2,7	0,2	1,9		2,0	6,5	230
08.04	3,5	11	4,8	1,1	0,31	3,4	1,6	0,25	2,5		1,5	6,0	360
09.04	0,4	1,0	3,1	0,9	0,40	>8	-	0,29	2,0		1,5	5,5	250
10.04	1,3	3,9	8,4	2,3	0,33	1,4	1,1	0,04	10		2,0	6,0	10
13.05	1,1	3,7	0,95	0,39	0,29	2,1	3,1	0,25	3,3		1,5	7,0	230
14.05	0,16	0,55	4,3	1,3	0,29	0,65	2,1	0,07	14	штиль	1,5	3,5	145
15.05	0,12	0,85	12	3,4	0,14	0,57	1,1	0,18	1,1		1,0	5,0	30
03.06	0,43	0,55	29	9,1	0,78	4,0	1,8	0,14	3,3		1,0	3,5	180
11.06	0,061	0,19	6,0	1,8	0,32	0,63	1,1	0,14	4,2		2,0	7,5	300
16.09	0,83	1,4	11	1,8	0,59	2,4	3,1	0,23	4		1,0	3,5	15
17.09	0,2	0,37	14	2,7	0,43	>8	2,1	0,12	16	штиль	1,0	4,0	60
18.09	0,46	1,3	15	3,1	0,37	2,8	2,2	0,08	14	штиль	1,5	4,5	75
22.09	0,20	0,81	6,0	1,0	0,25	2,5	3	0,16	3		2,5	8,5	140
23.09	1,2	3,3	5,0	1,0	0,35	2,5	2,7	0,13	5,1		1,5	5,0	270
24.09	0,89	1,7	3,0	0,49	0,51	1,5	1,4	0,49	5,6	ветрено	3,5	11,0	310
25.09	1,12	1,7	6,0	1,7	0,65	1,3	1,6	0,28	1,5		1,5	4,5	350
29.09	1,1	2,3	9,0	2,4	0,47	4,2	2,3	0,23	1,5	штиль	1,0	7,0	295
01.10	1,5	3,3	7,7	2,3	0,44	7,0	1,9	0,23	3,8	штиль	1,0	5,0	360
02.10	0,26	0,66	12	1,6	0,39	0,7	1,1	0,19	3,6	штиль	1,0	3,0	120
07.10	0,40	0,69	15	8,9	0,58	5,8	4,6	0,2	4,6		2,5	8,0	115
08.10	0,18	1,5	13	2,7	0,12	0,2	4	0,18	2,2		2,0	6,0	130
09.10	0,14	0,19	9,5	2,0	0,74	6,3	5,0	0,22	2,1		2,5	6,5	165
14.10	0,24	0,32	17	2,5	0,75	0,7	1,1	0,14	2,9		1,5	3,5	220
15.10	0,34	0,52	13	2,2	0,65	6,0	2,1	0,14	3,7		1,5	4,5	210
18.11	0,50	2,0	11	1,5	0,25	3,7	3,5	0,06	7,6		2,0	5,5	85
19.11	0,20	0,33	15	2,2	0,61	1,0	1,1	0,12	6		2,0	6,5	120
20.11	0,34	0,4	18	2,1	0,77	2,7	1,7	0,12	6,2		2,0	6,0	60
21.11	0,45	0,56	12	1,3	0,80	0,7	1,1	0,21	2,9		2,0	5,5	90
24.11	0,15	0,19	10	1,3	0,79	0,64	1,4	0,06	18,0	штиль	0,5	2,5	110
25.11	0,13	0,16	12	1,3	0,81	0,5	1,1	0,19	2,1		2,0	5,5	140
04.12	0,20	0,37	8,6	1,7	0,54	0,61	1,1	0,22	1,9	дымка	1,5	4,0	115
05.12	-	0,15	9,3	1,4	-	1,0	1,6	0,2	6,3	штиль	0,5	2,5	45
26.11	0,38	0,61	7,1	1,8	0,62	6,4	2,4	0,14	5,1	штиль	0,5	2,5	60

27.11	0,18	0,55	87	1,4	0,33	0,6	1,1	0,19	1	штиль	0,5	2,5	120
-------	------	------	----	-----	------	-----	-----	------	---	-------	-----	-----	-----

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
01.12	0,37	0,9	13	2,1	0,40	4,7	3,1	0,21	1,5	ясно	1,5	4,0	15
02.12	0,81	1,1	13	1,6	0,72	>8	8	0,19	2,2	штиль	1,0	3,0	25
03.12	0,27	0,36	7,8	1,3	0,62	0,8	1,1	0,08	8,1	дымка	2,0	5,0	130

Семь наиболее активных проб были измерены на полупроводниковом гамма-спектрометре. Во всех были выявлены ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am, а в пробе от 8 апреля еще ¹⁵⁴Eu. Их концентрации и соотношения радионуклидов приведены в табл. 3. Средние значения составили: ¹³⁷Cs/²⁴¹Am = 97 и ²⁴¹Am/¹⁵⁴Eu = 6,2. Такие величины характерны для проб из системы «Байпас» на протяжении последних 10 лет. Например, в 2013 г. были следующие средние значения: ¹³⁷Cs/²⁴¹Am = 79 и ²⁴¹Am/¹⁵⁴Eu = 7,1 [1].

Как следует из табл. 2, в большинстве проб отношение концентраций ¹³⁷Cs и $\Sigma\beta$ находилось в диапазоне 0,3 – 0,5, что уже было зарегистрировано в предыдущие годы, например в 2010 – 2013 гг. [1, 7 – 9]. В 2014 г. отношение концентраций ¹³⁷Cs/ $\Sigma\beta$ = 0,46. Таким образом, в составе выбрасываемой в атмосферу через систему «Байпас» $\Sigma\beta$ более трети приходится на ¹³⁷Cs.

Таблица 3. Концентрации (Бк/м³) ¹³⁷Cs, ¹⁵⁴Eu и ²⁴¹Am и соотношения их концентраций в выбросах через систему «Байпас» в 2014 г.

Дата	Объем, м ³	¹³⁷ Cs	¹⁵⁴ Eu	²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs/ ²⁴¹ Am	²⁴¹ Am/ ¹⁵⁴ Eu
17.03	11,8	1,7	-	0,036	47	-
25.03	11,4	2,1	-	0,011	190	-
27.03	11,2	3,5	-	0,061	57	-
31.03	11,5	2,3	-	0,028	82	-
01.04	12,1	2,8	-	0,015	190	-
08.04	11,0	3,6	0,016	0,10	36	6,2
03.06	13,8	0,43	-	0,006	72	-

Концентрации аэрозолей-носителей ДПР

Обработка измерений фильтров показала, что концентрации ДПР (рис. 6) и ²¹²Pb (дочерний продукт торона с периодом полураспада 10,6 ч) (рис. 7) были достаточно стабильными. Минимальные и максимальные значения отличались от среднего уровня, как правило, не более чем в два - три раза, а не в десятки раз, как у носителей продуктов Чернобыльской аварии. На рис. 8 хорошо видно, что между концентрациями $\Sigma\beta$ и ДПР корреляции нет. Следовательно, генерация аэрозолей чернобыльского генезиса и продуктов распада естественных благородных газов происходит по различающимся причинам.

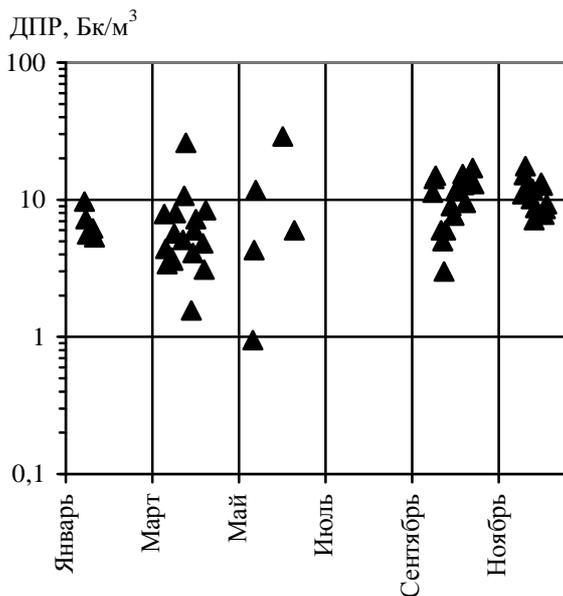


Рис. 6. Объемная активность ДПР в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2014 г.

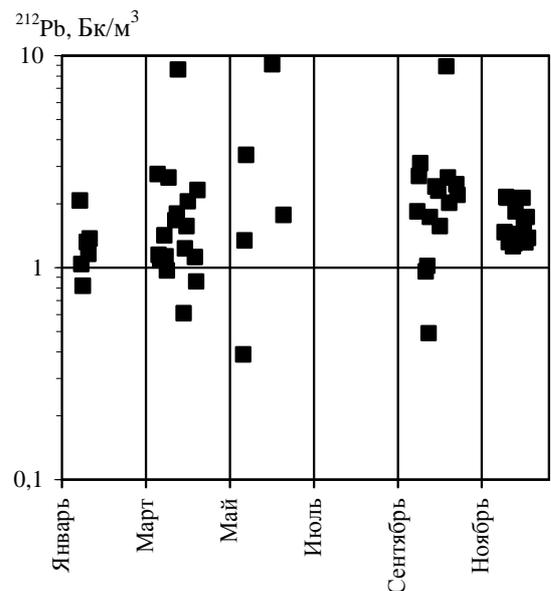


Рис. 7. Объемная активность ²¹²Pb в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2014 г.

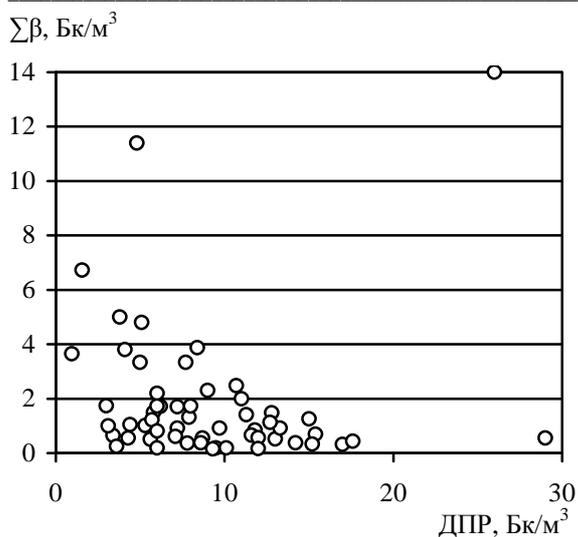


Рис. 8. Соотношение объемных активностей $\Sigma\beta$ и ДПР в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2014 г.

этим и объясняется низкая концентрация ДПР и ^{212}Pb в пробе, отобранной 13 мая (см. рис. 6 и 7).

В целом же сравнение данных 2014 г. и 10 предыдущих лет показывает, что содержание ^{212}Pb в выбросах через систему «Байпас» остается практически неизменным [1, 2, 6 - 10].

Соотношение концентраций ^{212}Pb и ДПР

Соотношение концентраций ДПР и ^{212}Pb подвержено значительным колебаниям. Однако, как следует из рис. 9, оно близко к 4, что наблюдалось ранее [1]. В [9] обобщены измерения около 700 проб, отобранных в 2003 – 2011 гг. Из них следует, что соотношение концентраций равно 3,8.

Проведенные исследования показали, что на протяжении многих лет в объекте «Укрытие» наблюдается устойчивое эманирование радона и торона и образование аэрозолей их дочерних продуктов. Судя по величинам соотношения концентраций ДПР/ ^{212}Pb , источники эманирования благородных газов остаются неизменными. Как следует из публикации [10], концентрации радона в системе «Байпас» меньше, чем в помещениях, расположенных на нижних уровнях объекта «Укрытие». Таким образом, эманулирующий там радон по мере подъема к вытяжной системе «Байпас» разбавляется атмосферным воздухом, поступающим через проемы и неплотности внешней конструкции объекта «Укрытие».

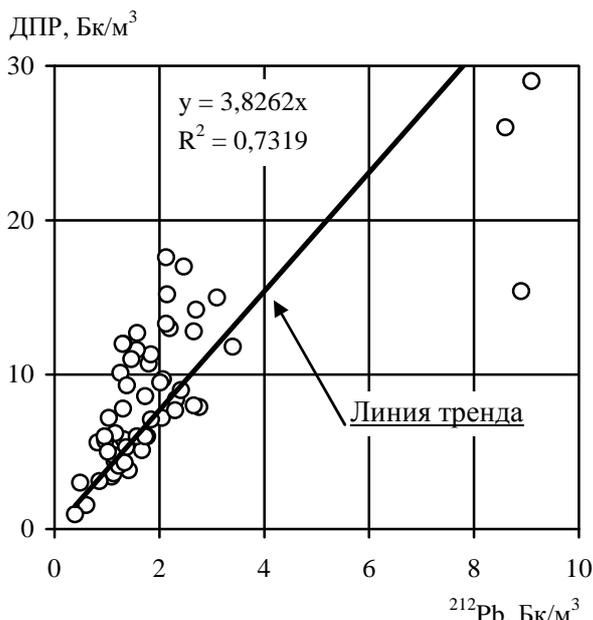


Рис. 9. Корреляционная связь объемных активностей ДПР и ^{212}Pb в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2014 г.

Из табл. 2 и рис. 7 следует, что в большинстве случаев концентрации ^{212}Pb находились в диапазоне 0,8 – 4 Бк/м³. Наиболее активными оказались лишь три пробы, в которых концентрации ^{212}Pb составили около 9 Бк/м³. Минимальная концентрация ^{212}Pb (0,39 Бк/м³) была зарегистрирована 13 мая. В этот день по данным метеостанции «Чернобыль» наблюдалась жаркая погода. В 15 ч температура воздуха составила 17,8 °С, а максимальные порывы ветра достигали 8 м/с. Через три часа температура поднялась до 18,6 °С, а ветер несколько стих (порывы 5 м/с). Пробу аэрозолей отбирали с 15 до 17 ч, т.е. при наиболее высокой температуре. Как было отмечено в [1] и изложено выше, при таких атмосферных условиях тяга воздуха в НВТ может прекратиться и поток даже может «перевернуться». В этом случае в систему «Байпас» через НВТ может поступать наружный воздух, в котором концентрации радиоактивных аэрозолей как чернобыльского генезиса, так и ДПР намного ниже, чем в объекте «Укрытие». Возможно,

Дисперсность радиоактивных аэрозолей

Определение дисперсного состава аэрозолей выполнено в соответствии с методикой [11]. На рис. 10 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 0,6 – 6 мкм. Лишь в четырех пробах АМАД был менее 0,6 мкм (минимальный размер 0,15 мкм). В 11 случаях АМАД был крупнее 6 мкм, причем в шести превышал 8 мкм. На основании этих данных можно констатировать, что во всех случаях аэрозоли-носители продуктов Чернобыльской аварии образовались в результате диспергационных процессов. Расположения источников образования и пути выноса таких крупных частиц точно не установлены.

Итак, в 2014 г. размер частиц-носителей продуктов Чернобыльской аварии, выбрасываемых

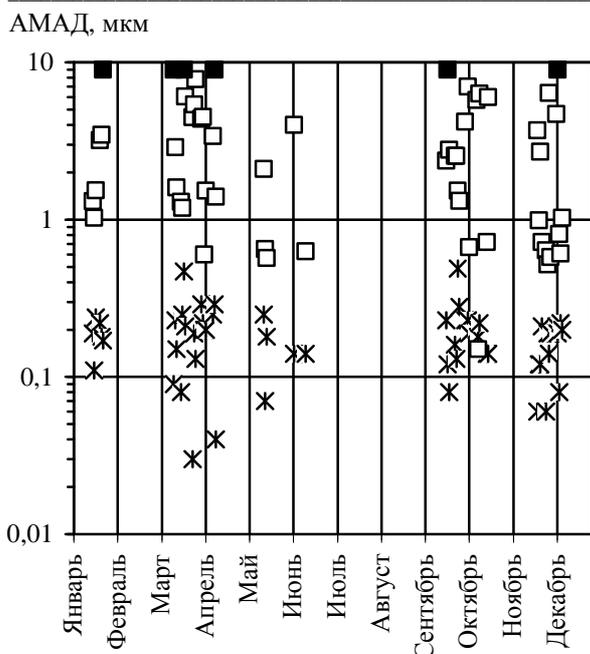


Рис. 10. АМАД носителей радионуклидов-продуктов Чернобыльской аварии (\square) и ДПР (\times) в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2014 г.:
 \blacksquare – пробы с АМАД больше 8 мкм.

из объекта «Укрытие» в атмосферу, оставался практически таким же, как на протяжении последних 10 лет [1, 2, 6 - 10].

Почти во всех случаях ДПР были связаны с частицами, АМАД которых находился в диапазоне 0,06 – 0,3 мкм (рис. 10). Максимальная величина АМАД наблюдалась в двух пробах и соответствовала 0,5 мкм. Минимальными носителями ДПР оказались аэрозоли с АМАД 0,03 мкм (одна проба) и 0,04 мкм (одна проба). Средняя величина АМАД была близка к 0,15 мкм.

Итак, размер аэрозолей-носителей ДПР практически не отличался от того, что было получено в системе «Байпас» на протяжении последних 10 лет [1, 2, 6 - 10].

Как следует из табл. 2, величины стандартного геометрического отклонения σ для ДПР в большинстве случаев превышали 2 – 2,5, что характерно для бимодального распределения аэрозолей по размерам. Очевидно, некоторая часть ДПР была связана не только с аккумуляционной, но и с нуклеационной модой атмосферных аэрозолей, к которой относятся частицы размером менее 0,06 – 0,08 мкм. В работе [12] на эту фракцию приходилось 3 – 14 % активности ^{212}Pb и ^{214}Pb .

Заключение

Максимальная скорость неорганизованного выброса $\Sigma\beta$ из объекта «Укрытие» в 2014 г. пришлась, как и в предыдущие годы, на холодный период года и достигала в период с 13 марта по 4 апреля 3,6 МБк/сут. Повышение скорости выброса в указанный период обусловлено метеорологическими параметрами. Выброс радиоаэрозолей в 2014 г. был наименьшим за все годы наблюдений.

Подводя итог наблюдениям 2014 г. за «организованными» выбросами, можно констатировать, что как концентрации радионуклидов, так и дисперсный состав аэрозолей, поступающих из центрального зала 4-го блока в систему «Байпас», а затем через вентиляционную трубу в атмосферу, по сравнению с предыдущими годами наблюдений практически не изменились [1, 2, 6 - 10]. Однако демонтаж ВТ-2 и сооружение НВТ во второй половине 2013 г. привели к тому, что прекращение тяги воздуха в системе «Байпас» стало происходить при разности температур снаружи и внутри около 15 °С, а не 20 °С, как это было при ВТ-2. Это, безусловно, ухудшило воздухообмен в помещениях объекта «Укрытие».

Среди 57 проб, отобранных в системе «Байпас», максимальная величина $\Sigma\beta$ составила 14 Бк/м³. Наиболее часто (86 % проб) концентрации $\Sigma\beta$ находились в диапазоне 0,3 – 5 Бк/м³. Такие объемные активности были связаны с невысокой интенсивностью работ внутри объекта «Укрытие», а следовательно, умеренной техногенной генерацией аэрозолей.

Средние значения отношений концентраций выявленных радионуклидов составили: $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am} = 97$ и $^{241}\text{Am}/^{154}\text{Eu} = 6,2$. Такие величины характерны для проб, отбирившихся из системы «Байпас» на протяжении последних 10 лет, и близки к показателям для оставшегося в развале реактора ядерного топлива.

Как правило, носителями радионуклидов-продуктов Чернобыльской аварии были частицы с АМАД 0,6 – 6 мкм.

Концентрации ^{212}Pb оставались, как и ранее, на уровне 0,8 – 4 Бк/м³, поскольку на них практически не влияют работы внутри объекта «Укрытие». Максимальная объемная активность аэрозолей-носителей ^{212}Pb составила 9 Бк/м³. Концентрации ДПР и ^{212}Pb варьировали в широких пределах, однако средняя величина их отношений оказалась, как в прежние годы [1, 2, 6 - 10], близка к 4. Никаких временных или сезонных закономерностей при этом не выявлено.

ДПР были по-прежнему ассоциированы с аэрозольными частицами, имевшими АМАД преимущественно в диапазоне 0,06 – 0,3 мкм при среднем значении около 0,15 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хан В.Е., Огородников Б. И., Калиновский А. К., Краснов В. А. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2013 г. // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2014. – Вип. 22. – С. 110 – 121.
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., Краснов В.А. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2009 г. // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2010. – Вип. 13. – С. 111 – 122.
7. 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. – Вип. 17. – С. 98 – 105.
8. Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К., Краснов В.А. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2011 г. // Там же. – 2012. – Вип. 19. – С. 94 – 103.
9. Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К., Краснов В.А. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2012 г. // Там же. – 2013. – Вип. 21. – С. 107 – 116.
10. Огородников Б.И., Хан В.Е., Пазухин Э.М., Краснов В.А. Радон и его дочерние продукты в объекте «Укрытие» в 2000 – 2010 гг. // Там же. – 2011. – Вип. 16. – С. 130 – 136.
11. 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.
12. Postendorfer J. Properties and behaviour of radon and their decay products in air // J. Aerosol Sci. – 1994. – Vol. 25. – P. 219 – 263.

В. Е. 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 2014 Р.

Наведено результати контролю викиду радіоактивних аерозолів з об'єкта «Укриття» в 2014 р. Максимальна величина неорганізованого викиду спостерігалася в зимовий період і досягала 3,6 МБк/доба. Концентрації довгоживучих бета-випромінюючих аерозолів, що надходили в атмосферу через систему «Байпас», знаходилися зазвичай у діапазоні 0,3 – 5 Бк/м³ (максимальна концентрація 14 Бк/м³). Їхніми носіями в більшості випадків були частинки з медіанним за активністю аеродинамічним діаметром (АМАД) 0,6 – 6 мкм. Середнє співвідношення концентрацій ¹³⁷Cs/²⁴¹Am було 97, а ²⁴¹Am/¹⁵⁴Eu – 6,2. Концентрації ²¹²Pb – дочірнього продукту торону – становили, як правило, 0,8 – 4 Бк/м³. Носіями дочірніх продуктів радону і торону (ДПР) були переважно частинки з АМАД 0,06 – 0,3 мкм. Об'ємні активності та дисперсність аерозолів у викидах з об'єкта «Укриття» залишаються практично стабільними впродовж останніх 10 років. Показано, що співвідношення концентрацій ДПР і ²¹²Pb у повітряному потоці, що викидаються в атмосферу через систему «Байпас», залишається постійним і близьке 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, 36a, Kirova str., Chornobyl, 07270, Ukraine

² Karpov Institute of Physical Chemistry, 3-1/12, build 6, Obuha pereulok, Moscow, 105064, Russia

CONTROL OF RELEASES OF RADIOACTIVE AEROSOLS FROM OBJECT “UKRYTTYA” IN 2014

The results of control of radioactive particulate emission are presented from the object “Ukryttya” in 2014. The maximal rate of unorganized releases of beta-radiating products of Chernobyl accident was in winter period and reached 3.6 MBq/day. The concentration of long-lived beta-radiating aerosols released in atmosphere from system “Bypass” was within the range 0.3 – 5 Bq/m³ (maximal concentration was 14 Bq/m³). Their carriers were particles with active median aerodynamic diameter (AMAD) 0.6 – 6 μm. Mean ratio of concentrations were: ¹³⁷Cs/²⁴¹Am = 97 and ²⁴¹Am/¹⁵⁴Eu = 6.2. The concentration of ²¹²Pb – daughter products of thoron consisted as a rule 0.8 – 4 Bq/m³. Maximal concentra-

tion of ^{212}Pb aerosols was 9 Bq/m^3 . The relation of concentrations of daughter products of radon and thoron and ^{212}Pb were about 4. They have AMAD $0.06 - 0.3 \mu\text{m}$. A volume activity and dispersity of radioactive aerosols in releases from object "Ukryttya" remain constant the last ten years.

Keywords: object "Ukryttya", aerosols, volume 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 2013 // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobyly (Problems of nuclear power plants and of Chornobyl). - 2014. - Iss. 22. - P. 110 – 121. (Rus)
2. Ogorodnikov B. I., Pazukhin E. M., Kliuchnykov A. A. Radioactive aerosols of the Shelter: 1986 - 2006 years. Monograph. – Chornobyl: National Academy of Sciences of Ukraine. Institute for Safety Problems of NPP, 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 // Radiochimiya (Radiochemistry). – 1999. – Vol. 41, № 4. – P. 368 - 378. (Rus.)
4. Radiation-physical characteristics of fuel of 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) / ISTC "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 2009 // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobyly (Problems of nuclear power plants and of Chornobyl). - 2010. - Iss. 13. - P. 111 – 122. (Rus)
7. 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)
8. Khan V. E., Ogorodnikov B. I., Kalinovskiy A. K., Krasnov V. A. Control of releases of radioactive aerosols from "Ukryttya" object in 2011 // Ibid. - 2012. - Iss. 19. - P. 94 – 103. (Rus)
9. Khan V. E., Ogorodnikov B. I., Kalinovskiy A. K., Krasnov V. A. Control of releases of radioactive aerosols from "Ukryttya" object in 2012 // Ibid. - 2013. - Iss. 21. - P. 107 – 116. (Rus)
10. Ogorodnikov B. I., Khan V. E., Pazukhin E. M., Krasnov V. A. Radon and its daughter products in "Ukryttya" object in 2003 – 2010 // Ibid. - 2011. - Iss. 16. - P. 130 – 136. (Rus)
11. 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.
12. Postendörfer J. Properties and behaviour of radon and their decay products in air // J. Aerosol Sci. – 1994. – Vol. 25. – P. 219 – 263.

Надійшла 13.02.2015
Received 13.02.2015