

КОНТРОЛЬ ВЫБРОСОВ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ИЗ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» В 2005 г.

**В. Е. Хан, Б. И. Огородников, А. К. Калиновский,
П. Н. Дубенко, В. Б. Рыбалка, В. А. Краснов**

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Представлены результаты контроля выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2005 г. Максимальная скорость неорганизованного выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» пришлось на период с января по март, а также в декабре, и достигала 5 МБк/сут. Наиболее часто в систему «Байпас» в 2005 г. поступали аэрозоли с активностным медианным аэродинамическим диаметром 2 – 6 мкм. Концентрации аэрозолей-носителей бета-излучающих нуклидов находились в диапазоне 1 – 10 Бк/м³. Концентрации свыше 20 Бк/м³ приходились на сеансы пылеподавления, на периоды сильных ветров и интенсивных строительных работ.

Введение

Результаты систематического контроля количества и состава неорганизованных выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие», начатого в 1992 г., остаются важным источником экспериментальных данных, необходимых как для оценки и повышения текущего уровня его безопасности, так и для решения задач по преобразованию объекта в экологически безопасную систему.

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

Радиоактивные аэрозоли из объекта «Укрытие» выносятся по двум каналам. Через систему «Байпас» и вентиляционную трубу ВТ-2 происходит «организованный» выброс аэрозолей, а через неплотности (щели, проемы, технологические люки) внешних строительных конструкций – «неорганизованный» выброс. Проконтролировать воздушные потоки в многочисленных неплотностях конструкций – чрезвычайно сложная задача [1].

Для оценки выноса радиоактивных аэрозолей через технологические отверстия и неплотности легкой кровли использовали аккумулялирующие планшеты, устанавливаемые над технологическими люками 7, 10, 13 и 15 (рис. 1).

Для обеспечения надежного удерживания аэрозолей планшеты пропитывали нефтепродуктами (литол-24 и масло-разбавитель).

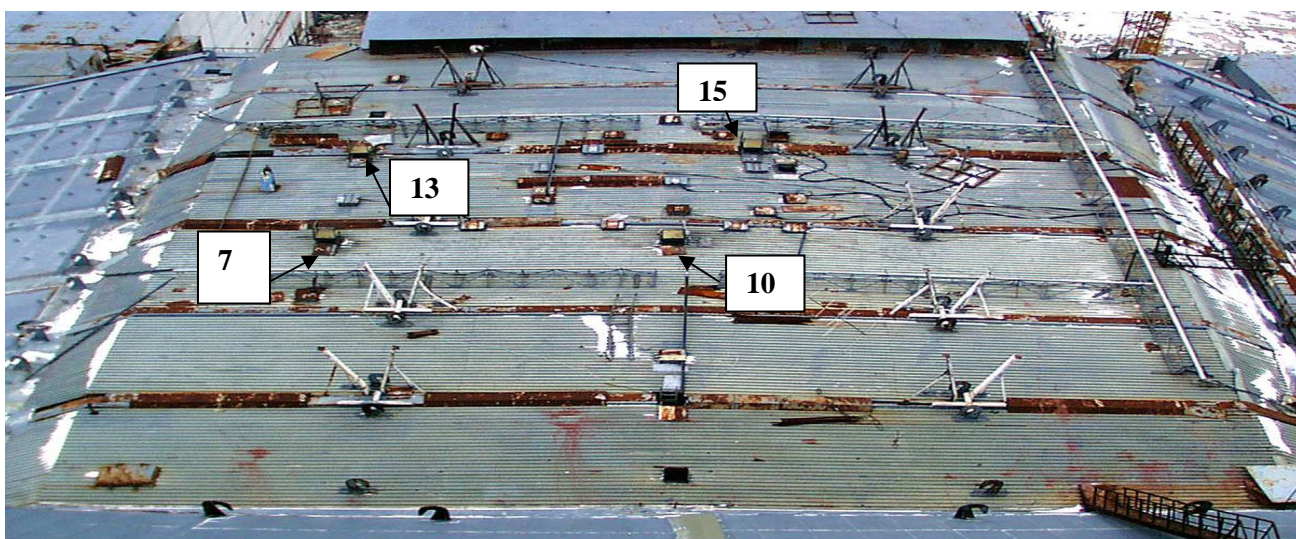


Рис. 1. Расположение планшетов на легкой кровле объекта «Укрытие».

Суммарная площадь отверстий на верхних отметках объекта «Укрытие» при оценке интегрального выноса принималась равной 120 м² [2].

Неорганизованный выброс бета- и альфа-активности с аэрозолями через отверстия и проемы на верхних отметках объекта «Укрытие» в 2005 г. оценен в 789 и 8,7 МБк соответственно (табл. 1). При этом наибольшие скорости выброса наблюдались в период с января по март, а также в декабре, и достигали 5 МБк/сут. Повышение скорости выброса в указанные периоды следует отнести за счет максимального перепада температур внутри и снаружи объекта «Укрытие». Кроме того, регламентные работы системы пылеподавления (СПП) 15 февраля и 15 марта также способствовали повышению выброса радиоаэрозолей [3].

Таблица 1. Оценка выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2005 г.

| Экспозиция | | Верхний предел величины аэрозольного выброса, МБк | | | |
|------------|-------------------|---------------------------------------------------|---------------|-------------------|---------------|
| | | альфа-излучатели* | | бета-излучатели** | |
| Начало | Длительность, сут | за сутки | с начала года | за сутки | с начала года |
| 21.12.04 | 36 | 0,02 | 0,50 | 1,7 | 43 |
| 26.01.05 | 35 | 0,04 | 1,9 | 4,5 | 201 |
| 02.03.05 | 34 | 0,07 | 4,2 | 5,0 | 372 |
| 05.04.05 | 36 | 0,02 | 4,8 | 1,3 | 418 |
| 11.05.05 | 15 | 0,02 | 5,1 | 1,6 | 442 |
| 26.05.05 | 41 | 0,01 | 5,7 | 1,2 | 491 |
| 06.07.05 | 27 | 0,01 | 5,8 | 0,4 | 503 |
| 02.08.05 | 27 | 0,01 | 6,0 | 0,6 | 520 |
| 29.08.05 | 10 | 0,01 | 6,1 | 1,1 | 531 |
| 08.09.05 | 27 | 0,02 | 6,7 | 1,6 | 575 |
| 05.10.05 | 28 | 0,02 | 7,4 | 3,2 | 666 |
| 02.11.05 | 34 | 0,003 | 7,5 | 0,38 | 678 |
| 06.12.05 | 25 | 0,05 | 8,7 | 4,4 | 789 |
| Среднее | | 0,023 | | 2,1 | |

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

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

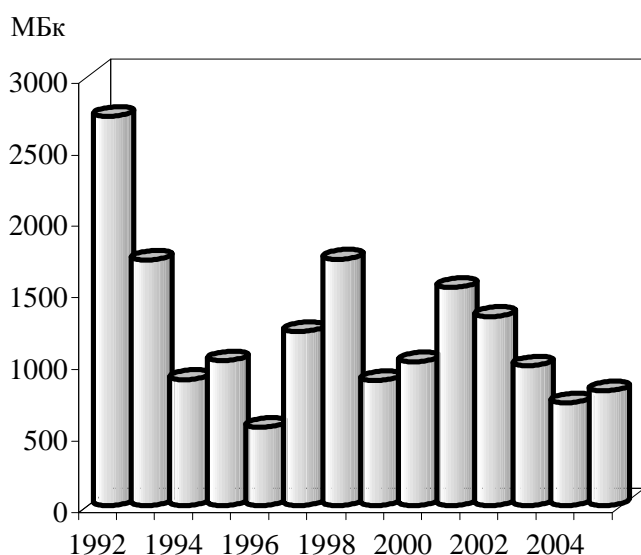


Рис. 2. Динамика выброса радиоаэрозолей через неплотности в кровле объекта "Укрытие" в 1992 - 2005 гг. по данным аккумулирующих планшетов.

На рис. 2 представлена динамика неорганизованного выброса с 1992 по 2005 г. Можно отметить следующее:

1. В 1992 – 1996 гг. наблюдался спад выброса активности, сменившийся периодом незначительных колебаний.

2. Некоторое повышение активности в 2001 г. объясняется сочетанием неблагоприятных метеоусловий (сухое жаркое и ветреное лето) с проведением ремонтных работ на легкой кровле.

Для аэрозолей в выбросах через технологические люки легкой кровли характерно их обогащение ¹³⁷Cs относительно базового состава топлива 4-го энергоблока [4].

Дисперсный и радионуклидный составы, а также концентрации являются важнейшими показателями состояния источников, генерирующих аэрозоли (деградация ЛТСМ, обрушение конструкций, строительные, в частности сварочные и газорезные

работы, высыхание и увлажнение поверхностей, в том числе и тех, на которые нанесены пылеподавляющие растворы, и т.д.).

Местом отбора проб для исследований дисперсного и радионуклидного составов аэрозольных выбросов из объекта «Укрытие» была выбрана система «Байпас». Сюда поступают объединенные в бывшем центральном зале 4-го энергоблока микро- и макропотоки из многочисленных помещений и коридоров объекта «Укрытие», в том числе из тех, где находятся ЛТСМ и остатки ядерного топлива.

С позиций радиационной безопасности и влияния на окружающую среду выбросы аэрозолей через систему «Байпас» и ВТ-2 являются определяющими не только по количеству радиоактивных веществ, покидающих объект «Укрытие», но и по влиянию на окружающую среду, поскольку срез трубы находится на высоте 150 м. После выхода из такого источника перенос и осаждение аэрозолей в значительной мере зависят от размера частиц.

Впервые отборы проб для одновременного определения дисперсного состава и концентраций радионуклидов в «Байпасе» были выполнены специалистами МНТЦ «Укрытие» в конце 2002 г. Схема и описание «Байпаса» представлены в [1, 5 - 9]. Для отбора аэрозолей использовали пакеты многослойных фильтров, изготовленные в НИФХИ им. Л. Я. Карпова (Москва). В них, как и при регламентном мониторинге аэрозолей в объекте «Укрытие», используются аналитические фильтры АФА РМП-20 или АФА РСР-20, но впереди них для определения размеров аэрозольных частиц размещают два слоя волокнистого материала ФПА-70. Методические основы применения трехслойных пакетов фильтров изложены в [10].

Для прокачки воздуха использовали регламентный аспиратор Н-810 (SAIC-RADeCO), питание которого осуществлялось от выпрямителя. Для обеспечения изокINETИЧНОСТИ отбора аэрозолей из «Байпаса», в котором скорость потока зависела от времени года, перед пакетом фильтров устанавливали конусные насадки различной длины и входного диаметра. Тем самым приближали скорость отбора воздуха на пакет фильтров к средней скорости вентиляционного потока в «Байпасе».

В помещении 4004/1 воздухоудувку опускали внутрь по оси «Байпаса» на 30 – 40 см ниже среза его выходного цилиндрического воздуховода диаметром 1,4 м. Конусная насадка располагалась навстречу потоку. Продолжительность отбора составляла ~ 2 ч, за которые отфильтровывали ~ 12 м³ воздуха. Через 20 мин после окончания пробоотбора фильтры начинали измерять в помещении Г328 объекта «Укрытие» радиометрами КРК-1 и УДЗА 09П для выявления короткоживущих дочерних продуктов радона и торона. Для определения

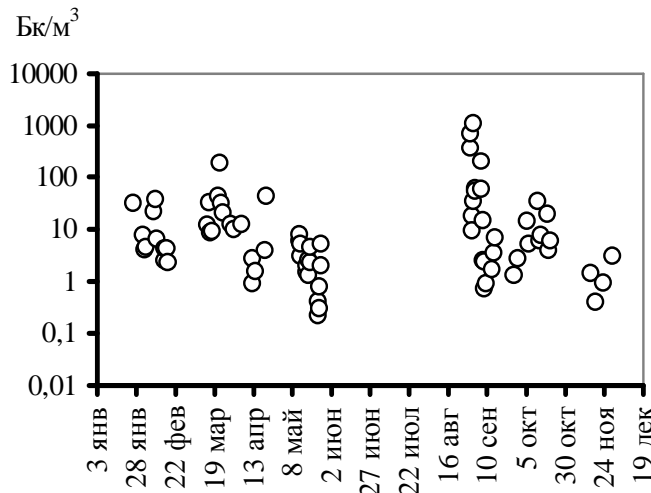


Рис. 3. Объемные активности аэрозолей-носителей суммы, бета-излучающих нуклидов в «Байпасе» объекта «Укрытие» в 2005 г.

активности долгоживущих бета-излучающих нуклидов измерения повторяли через 4 – 5 сут. После этого проводили гамма-спектрометрию фильтров. Результаты измерений и расчетов обобщены в табл. 2 и на рис. 3.

Как видно, концентрации аэрозолей-носителей ¹³⁷Cs и суммы бета-излучающих нуклидов ($\Sigma\beta$) варьировались в широких пределах. Необходимо отметить, что максимальные концентрации этих радионуклидов совпадали с периодами сильных ветров, сеансами регламентного пылеподавления и испытаниями модернизированной ССП (МСПП). Корреляции между содержанием в воздухе аэрозолей-носителей радионуклидов «чернобыльского» генезиса и продуктов радона и торона не

Таблица 2. Характеристики радиоактивных аэрозолей – продуктов чернобыльской аварии и дочерних продуктов радона и торона (ДПР) в «Байпасе» за 2005 г.

| Дата | Концентрация, Бк/м ³ | | | | ¹³⁷ Cs | ¹³⁷ Cs | АМАД, мкм | | Σβ | ДПР | Условия отбора |
|-------|---------------------------------|------|-------------------|-----|-------------------|-------------------|-----------|------|-----|-----|----------------|
| | ¹³⁷ Cs | Σβ | ²⁴¹ Am | ДПР | Σβ | ²⁴¹ Am | Σβ | ДПР | | | |
| 26.01 | 13 | 32 | 0,094 | 13 | 0,42 | 144 | 5,1 | 0,3 | 2,1 | 3,5 | |
| 01.02 | 3,6 | 7,8 | | 7 | 0,45 | | 1,4 | 0,14 | 2,0 | 3,7 | |
| 02.02 | 1,9 | 4,1 | | 12 | 0,47 | | 6,4 | 0,19 | 1,7 | 1,6 | |
| 03.02 | 2,3 | 4,5 | | 12 | 0,52 | | 2,2 | 0,19 | 4,0 | 2,1 | |
| 08.02 | 5,4 | 22 | 0,16 | 13 | 0,24 | 34 | 5,0 | 0,41 | 2,7 | 8,0 | штиль |
| 09.02 | 8,6 | 37 | 0,14 | 6 | 0,23 | 63 | 3,6 | | 2,1 | | - ” - |
| 10.02 | 3,0 | 6,5 | | 10 | 0,46 | | 1,4 | 0,09 | 1,8 | 8,4 | - ” - |
| 15.02 | 1,1 | 2,5 | | 23 | 0,44 | | 5,3 | 0,07 | 1,5 | | до СПП, |
| 15.02 | 2,8 | 4,3 | | 22 | 0,64 | | 3,2 | 0,07 | 1,9 | 5,7 | после СПП |
| 16.02 | 2,2 | 4,3 | | 18 | 0,52 | | 2,7 | 0,13 | 1,5 | 2,6 | |
| 17.02 | 1,3 | 2,3 | | 28 | 0,56 | | 3,3 | 0,06 | 2,4 | 8,2 | туман |
| 14.03 | 3,9 | 12 | | 11 | 0,32 | | 2,8 | 0,1 | 2,6 | 6,0 | |
| 15.03 | 7,8 | 33 | 0,22 | 10 | 0,24 | 36 | 2,1 | 0,14 | 2,3 | 3,8 | до СПП |
| 15.03 | 80 | 350 | 2,3 | | 0,23 | 34 | 2,3 | | 2,5 | | после СПП |
| 16.03 | 2,1 | 8,8 | | 7 | 0,23 | | 3,5 | 0,11 | 2,7 | 4,4 | |
| 17.03 | 3,5 | 9,3 | 0,18 | 12 | 0,38 | 19 | 4,1 | 0,11 | 2,4 | 5,4 | дымка |
| 21.03 | 8,9 | 43 | 0,37 | | 0,49 | 24 | 1,5 | | 3,5 | | ветрено |
| 22.03 | 41 | 190 | 1,4 | 8 | 0,22 | 29 | 2,2 | 0,06 | 4,3 | 4,1 | - ” - |
| 23.03 | 6,4 | 32 | 0,29 | 6 | 0,2 | 22 | 3,6 | | 3,6 | | |
| 24.03 | 6,4 | 21 | 0,16 | 11 | 0,3 | 39 | 5,7 | 0,06 | 2,6 | 5,4 | |
| 29.03 | 6,2 | 13 | 0,083 | 10 | 0,49 | 75 | 1,9 | 0,02 | 3,3 | | |
| 31.03 | 4,0 | 10 | 0,12 | 8 | 0,4 | 35 | 2,0 | 0,02 | 2,4 | | |
| 05.04 | 3,0 | 13 | 0,063 | 2 | 0,24 | 47 | 1,9 | 0,06 | 3,7 | | |
| 12.04 | 0,24 | 0,91 | | 3,6 | 0,26 | | | 0,1 | | 8,7 | до СПП |
| 12.04 | 0,86 | 2,9 | 0,021 | 1,4 | 0,3 | 42 | 2,0 | 0,24 | 2,9 | 1,3 | после СПП |
| 14.04 | 0,64 | 1,5 | 0,02 | 5 | 0,42 | 33 | | 0,15 | | 4,2 | |
| 20.04 | 1,5 | 3,9 | | 4,3 | 0,39 | | 0,9 | 0,05 | 1,6 | | |
| 21.04 | 14 | 43 | 0,19 | 6 | 0,33 | 74 | 4,7 | 0,38 | 1,8 | | ветрено |
| 12.05 | 2,0 | 6,0 | 0,046 | 10 | 0,3 | 43 | 6,4 | 0,1 | 2,2 | 3,7 | до МСПП |
| 12.05 | 2,5 | 7,9 | 0,048 | 10 | 0,31 | 52 | 1,1 | 0,15 | 1,1 | 1,6 | после МСПП |
| 13.05 | 1,2 | 3,1 | | 7 | 0,43 | | 5,2 | 0,13 | 4,7 | 2,4 | до МСПП |
| 13.05 | 1,8 | 5,2 | 0,032 | 2,6 | 0,34 | 55 | 1,7 | 0,15 | 2,0 | 5,3 | после МСПП |
| 17.05 | 0,85 | 1,5 | | 5 | 0,57 | | 3,0 | 0,07 | 5,9 | 8,4 | до МСПП |
| 17.05 | 0,66 | 2,0 | | 7,5 | 0,33 | | 2,3 | 0,07 | 3,8 | 5,0 | после МСПП |
| 18.05 | 1,3 | 2,6 | 0,016 | 7 | 0,51 | 85 | 2,6 | 0,06 | 1,5 | 7,9 | до МСПП |
| 18.05 | 0,3 | 1,3 | | 7 | 0,22 | | 3,6 | 0,16 | 2,4 | 2,8 | после МСПП |
| 19.05 | 0,7 | 2,3 | | 4 | 0,4 | | 2,6 | 0,06 | 1,5 | 7,9 | до МСПП |
| 19.05 | 1,6 | 4,6 | 0,027 | 4 | 0,35 | 59 | 3,6 | 0,16 | 2,4 | 2,8 | после МСПП |
| 24.05 | 0,3 | 0,4 | | 8 | 0,76 | | 1,3 | 0,13 | 3,2 | 4,1 | до МСПП |
| 24.05 | 0,24 | 0,22 | | 8 | 1,1 | | 3,8 | 0,06 | 2,6 | | после МСПП |
| 25.05 | 0,55 | 0,78 | | 9,5 | 0,71 | | 5,8 | 0,02 | 2,9 | | до МСПП |
| 25.05 | 0,08 | 0,3 | | 10 | 0,28 | | | 0,13 | | 3,8 | после МСПП |
| 26.05 | 3,1 | 5,2 | | 6 | 0,68 | | 2,8 | 0,08 | 2,9 | | до МСПП |
| 26.05 | 0,94 | 2,0 | | 6 | 0,46 | | 2,0 | 0,16 | 2,0 | 2,4 | после МСПП |
| 30.08 | 160 | 370 | 1,7 | | 0,42 | 95 | | | | | до МСПП |
| 30.08 | 200 | 700 | 4,6 | | 0,28 | 44 | | | | | после МСПП |
| 31.08 | 9,3 | 19 | | | 0,5 | | 15,2 | | 1,3 | | до МСПП |
| 31.08 | 5,3 | 9,4 | | | 0,57 | | 7,6 | | 2,3 | | после МСПП |

Продолжение табл. 2

| Дата | Концентрация, Бк/м ³ | | | | ¹³⁷ Cs | ¹³⁷ Cs | АМАД, мкм | | | | Условия отбора |
|-------|---------------------------------|------|-------------------|-----|-------------------|-------------------|-----------|------|-----|------|----------------------|
| | ¹³⁷ Cs | Σβ | ²⁴¹ Am | ДПР | Σβ | ²⁴¹ Am | Σβ | ДПР | Σβ | ДПР | |
| 01.09 | 370 | 1100 | 5,2 | | 0,34 | 71 | 4,3 | | 2,0 | | до МСПП |
| 01.09 | 11 | 35 | 0,23 | | 0,31 | 46 | 17,9 | | 1,2 | | после МСПП |
| 02.09 | 19 | 61 | 0,27 | | 0,32 | 71 | 6,4 | | 1,3 | | до МСПП |
| 02.09 | 15 | 55 | 0,3 | | 0,27 | 49 | | | | | после МСПП |
| 06.09 | 100 | 210 | 0,9 | 10 | 0,49 | 106 | 11,1 | 0,17 | 1,4 | 4,9 | до МСПП |
| 06.09 | 34 | 59 | 0,25 | 7 | 0,58 | 106 | 10,8 | 0,26 | 1,4 | 2,1 | после МСПП |
| 07.09 | 6,2 | 15 | 0,064 | 15 | 0,41 | 92 | 12,2 | 0,3 | 1,5 | 1,6 | до МСПП |
| 07.09 | 0,5 | 2,5 | | 9 | 0,2 | | 0,5 | 0,22 | 1,1 | 2,1 | после МСПП |
| 08.09 | 0,33 | 0,72 | | 8 | 0,22 | | 18,9 | 0,35 | 1,2 | 4,6 | до МСПП |
| 08.09 | 1,1 | 2,4 | | 5 | 0,47 | | 9,4 | 0,26 | 3,1 | 1,3 | после МСПП |
| 09.09 | 0,46 | 0,91 | | 7 | 0,2 | | 8,8 | 0,21 | 1,7 | 4,6 | |
| 13.09 | 0,7 | 1,7 | | 23 | 0,4 | | 1,6 | 0,31 | 2,1 | 2,3 | |
| 14.09 | 1,7 | 3,5 | | 10 | 0,48 | | 9,7 | 0,31 | 1,8 | 3,4 | |
| 15.09 | 2,5 | 6,9 | | 18 | 0,36 | | 6,4 | 0,21 | 2,2 | 2,9 | |
| 27.09 | 1,06 | 1,3 | | 35 | 0,8 | | 4,0 | 0,26 | 3,2 | 5,6 | |
| 29.09 | 0,94 | 2,8 | | 26 | 0,34 | | 10,2 | 0,23 | 2,1 | 3,5 | |
| 05.10 | 4,9 | 14 | | 11 | 0,29 | | 5,5 | 0,28 | 1,4 | 1,7 | низкая облач |
| 06.10 | 2,1 | 5,3 | | 14 | 0,4 | | 7,7 | 0,44 | 1,8 | 5,5 | |
| 12.10 | 9,5 | 34 | 0,18 | 15 | 0,27 | 52 | 3,7 | 0,1 | 1,1 | 8,0 | |
| 13.10 | 2,5 | 6,0 | | 19 | 0,42 | | 6,9 | 0,23 | 1,9 | 6,3 | низкая облач |
| 14.10 | 2,6 | 7,8 | 0,041 | 15 | 0,34 | 64 | 4,1 | 0,28 | 1,5 | 2,4 | при МСПП, туман |
| 18.10 | 6,5 | 20 | 0,066 | 14 | 0,33 | 98 | 4,2 | 4,74 | 1,4 | 4,8 | ветрено |
| 19.10 | 1,8 | 3,9 | | 7 | 0,47 | | 5,0 | 0,24 | 2,2 | 3,1 | |
| 20.10 | 1,7 | 6,0 | | 7 | 0,29 | | 4,0 | 0,2 | 1,9 | 5,0 | |
| 15.11 | 0,65 | 1,4 | | 8 | 0,45 | | 5,0 | 0,24 | 2,7 | 3,4 | |
| 18.11 | 0,3 | 0,4 | | 5,6 | 0,75 | | 1,3 | 0,27 | 2,0 | 1,8 | ветрено |
| 22.11 | 1,0 | 1,94 | | 11 | 0,54 | | 0,31 | 0,09 | 1,1 | 10,2 | после ветра штиль |
| 23.11 | 0,52 | 0,93 | | 9 | 0,56 | | 3,9 | 0,3 | 1,2 | 2,3 | |
| 29.11 | 1,0 | 2,5 | | 10 | 0,4 | | 15,2 | 0,31 | 1,2 | 2,9 | туман |
| 30.11 | 0,5 | 0,97 | | 8 | 0,51 | | 3,6 | 0,29 | 2,2 | 1,4 | туман |

наблюдалось. Однако в феврале и сентябре – октябре концентрации радона и торона были в 3 - 5 раз выше, чем в другие месяцы. Подобная тенденция наблюдалась и в 2004 г. [11]. Для выявления закономерностей эманирования этих газов и их распределения в помещениях объекта «Укрытие» необходимо хотя бы раз в месяц проводить радоновую съемку.

Наиболее высокие концентрации радиоактивных аэрозолей были зарегистрированы в конце августа - начале сентября. В этот период в южной части объекта «Укрытие» начались работы по стабилизационному мероприятию 14а, связанному с укреплением западной опоры балки «Мамонт». В соответствии с нарядной документацией проводились обустройство технологических проемов в южном кровельном покрытии (южные «клюшки»), монтаж путей доступа и кранов, установка ограждающих элементов и дверей с использованием электроинструментов и сварки. 3 - 4 сентября проводилась установка опорных балок и крепление их к основанию балки «Мамонт», 5 - 6 сентября на балку «Осьминог» установили опорную тумбу. Работы сопровождались интенсивным пылением, связанным с расчисткой зон опирания подкоса на оси 44 до отметки +24,3 м и зачисткой шлифовальной машинкой поверхностей существующих металлоконструкций и закладных деталей от ржавчины, грязи и т.п. в местах крепления элементов усиления.

Как следует из табл. 2, наиболее высокая концентрация за весь 2005 г. $\Sigma\beta = 1100 \text{ Бк/м}^3$ была зарегистрирована 1 сентября. Эта величина в три раза превышала контрольную концентрацию 370 Бк/м^3 , установленную для выбросов аэрозолей через «Байпас» на то время. Пробу отбирали с 08 ч 37 мин в течение 103 мин перед включением форсунок пылеподавления коллектора № 1. На лобовом (голубом) слое пакета фильтров было обнаружено большое количество черных пылинок, в том числе диаметром 0,5 мм. На двух последующих слоях (розовом и белом) черных пылинок не было. В результате радиометрии пакета фильтров было установлено, что 94 % $\Sigma\beta$ находилось на лобовом слое. Это показывало, что черные пылинки являются основными носителями радионуклидов – продуктов чернобыльской аварии. Вероятнее всего, их источник находился в районе проведения работ по стабилизационному мероприятию 14а.

В 10 ч 2 мин был включен коллектор № 1, и в течение 12 мин через его 13 форсунок происходило распыление над поверхностью развала центрального зала сначала 5 т локализирующего полимерного состава, а затем 3,3 т промывочного раствора. Пробоотбор аэрозолей в «Байпасе» был начат в 10 ч 23 мин и продолжался 125 мин. Как следует из табл. 2, концентрация радиоактивных аэрозолей снизилась почти в 30 раз. Очевидно, это произошло как из-за изменения характера работ в районе балки «Мамонт», так и вымывания аэрозолей каплями распыляемых жидкостей. Осмотр фильтров после окончания пробоотбора показал, что на лобовом слое количество черных пылинок существенно снизилось по сравнению с пробоотбором перед началом распыления жидкостей.

Как видно из табл. 2, высокие концентрации радиоактивных аэрозолей наблюдались также 30 августа и 6 сентября. Включение форсунок коллекторов № 1 и № 3 6 сентября привело, как и 1 сентября, к снижению содержания аэрозолей, но лишь в четыре раза, а 30 августа при работе форсунок коллектора № 2 концентрация аэрозолей даже увеличилась в два раза. При этом 30 августа как до пылеподавления, так и после окончания распыления растворов (5 т локализирующего состава и 2,3 т промывочного раствора) величина $\Sigma\beta$ превосходила установленную контрольную концентрацию для выбросов через «Байпас».

Повышение концентрации аэрозолей в «Байпасе» при проведении сеансов пылеподавления наблюдали до этого неоднократно [3, 11 - 12]. В 2005 г. к такому эффекту приводили регламентные работы СПП через коллектор № 1 15 февраля, 15 марта, 12 апреля, а затем несколько раз в мае при вводе модернизированной СПП (МСПП) в эксплуатацию [13]. Следует отметить, что 15 марта, после окончания работы СПП, концентрация аэрозолей увеличилась в 10 раз, и $\Sigma\beta$ достигла 348 Бк/м^3 (см. табл. 2).

В процессе наблюдений в «Байпасе» в 2005 г. установлено, что повышение концентраций аэрозолей при работе СПП или МСПП, при отсутствии генерации аэрозолей от других источников (например, строительных работ), происходит на короткий период. Как правило, на следующие сутки аэрозольная обстановка возвращается к «фоновому» уровню. Из этого можно заключить, что под воздействием струй и капель, вырывающихся из форсунок, в воздух поднимаются крупные (более 1 мкм) частицы, которые быстро оседают за счет гравитации на поверхность развала 4-го блока.

На рис. 3 хорошо видно, что наиболее часто концентрации $\Sigma\beta$, как и в 2004 г. [3], находились в диапазоне 1 – 10 Бк/м^3 . Лишь в восьми из 76 результатов, представленных в табл. 2 и на рис. 3, $\Sigma\beta$ была ниже 1 Бк/м^3 . Концентрации свыше 20 Бк/м^3 , как правило, приходились на сеансы пылеподавления, на время интенсивных строительных работ и периоды сильных ветров. Например, 15 и 22 марта максимальные порывы ветра достигали 7 м/с, 21 марта – 11 м/с, 21 апреля и 18 октября – 8 м/с. Таким образом, ветер во внешней среде являлся одним из существенных факторов, влиявших на концентрацию аэрозолей, поступавших в «Байпас».

В результате систематических измерений проб на радиометре КРК-1 и гамма-спектрометре получено, что отношение концентраций ^{137}Cs и $\Sigma\beta$ в большинстве случаев находилось в диапазоне 0,2 – 0,6 (см. табл. 2). Какой-либо связи этого параметра с метеоро-

логическими условиями и технологическими операциями внутри объекта «Укрытие» не выявлено. Помимо ^{137}Cs при гамма-спектрометрии ряда проб были определены ^{241}Am и ^{154}Eu . Обработка результатов измерений 33 проб показала, что отношение $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$, как правило, находилось в диапазоне от 30 до 100 при среднем значении 59. Эта величина близка к расчетному соотношению ^{137}Cs и ^{241}Am в аварийном ядерном топливе на середину 2005 г. [4] и практически совпала с тем, что было получено в «Байпаса» в 2004 г. [11] и при экспозициях планшетов на крыше объекта «Укрытие» в 2005 г.

Дисперсный состав аэрозолей-носителей бета-излучающих нуклидов «чернобыльского» генезиса был определен почти в 70 пробах. За исключением трех проб, АМАД превышал 1 мкм. В 10 пробах аэрозоли были очень крупные (с АМАД более 8 мкм). Причем грубодисперсные аэрозоли наблюдались только в конце августа – начале сентября в процессе проведения испытаний МСПП, совпавшем с интенсивными работами по выполнению стабилизационного мероприятия 14а. Исследования фильтров показали, что крупные аэрозоли образовались в результате строительных работ.

В двух пробах из «Байпаса» были определены размеры частиц-носителей не только $\Sigma\beta$, но и отдельных радионуклидов (^{137}Cs , ^{154}Eu , ^{241}Am и ^{90}Sr). Для измерения $\Sigma\beta$ был использован радиометр КРК-1, находящийся в помещении Г328 объекта «Укрытие», для измерения ^{137}Cs , ^{154}Eu и ^{241}Am - гамма-спектрометр отделения ядерной и радиационной безопасности ИПБ АЭС и для ^{90}Sr и ^{137}Cs - бета-спектрометр СЕБ-1 в лаборатории радиационного мониторинга объекта «Укрытие». Распределение радиоактивных веществ по фильтрующим слоям представлено в табл. 3.

Таблица 3. Распределение радиоактивных веществ в фильтрующих слоях, %

| Средство измерения активности | | | КРК-1 | гамма-спектрометр | | | бета-спектрометр | | Условия отбора |
|-------------------------------|------|--------------------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|----------------|
| Дата | Слой | Фильтроматериал | | $\Sigma\beta$ | ^{137}Cs | ^{154}Eu | ^{241}Am | ^{90}Sr | |
| 22.03 | 1 | ФПА-70-0,10 (голубой) | 68,4 | 69,1 | 68,9 | 60,2 | - | - | - |
| | 2 | ФПА-70-0,16 (розовый) | 13,2 | 12,6 | 15,0 | 19,9 | - | - | |
| | 3 | АФА РМП-20 (белый) | 18,4 | 18,3 | 16,1 | 19,9 | - | - | |
| 01.09 | 1 | ФПА-70-0,12 (голубой) | 94,1 | 95,1 | 94,4 | 94,5 | 95,0 | 94,8 | До МСПП |
| | 2 | ФПА-70-0,26 (розовый) | 5,4 | 4,4 | 5,1 | 5,2 | 4,4 | 4,8 | |
| | 3 | АФА РМП-20 (белый) | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,6 | 0,4 | |

Как видно из табл. 3, все радионуклиды одинаково распределены между фильтрующими слоями как в одной, так и в другой пробах. Следовательно, при отборах проб их носителями были одни и те же частицы.

По данным табл. 3, согласно методике [10], были рассчитаны параметры логнормального распределения аэрозолей по размерам: АМАД и стандартное геометрическое отклонение σ (табл. 4).

Из полученных результатов следует, что 22 марта носителями радиоактивных продуктов чернобыльской аварии были аэрозоли с АМАД около 2 мкм, а 1 сентября перед пуском коллектора № 1 системы пылеподавления – более крупные с АМАД около 4 мкм.

Подводя итоги проведенным исследованиям, отметим, что носителями “чернобыльских” радионуклидов были аэрозоли микронного класса, а дочерних продуктов радона и торона – субмикронные аэрозоли с АМАД 0,05 – 0,5 мкм (рис. 4). Эти данные аналогичны

результатам, полученным в процессе опробования методики в 2003 г., когда из «Байпаса» были отобраны первые 18 проб [14], и 2004 г. [11], когда отобрали и измерили 70 проб.

Таблица 4. Характеристики дисперсного состава радиоактивных аэрозолей, отобранных из «Байпаса» в марте и сентябре 2005 г.

| Дата | АМАД, мкм | | | | | σ | | | | | Условия отбора |
|-------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|----------------|
| | Σβ | ¹³⁷ Cs | ¹⁵⁴ Eu | ²⁴¹ Am | ⁹⁰ Sr | Σβ | ¹³⁷ Cs | ¹⁵⁴ Eu | ²⁴¹ Am | ⁹⁰ Sr | |
| 22.03 | 2,2 | 2,4 | 1,9 | 1,1 | - | 4,3 | 4,4 | 3,8 | 3,2 | - | - |
| 01.09 | 4,3 | 3,3 | 3,1 | 4,3 | 3,4 | 2,0 | 1,3 | 1,3 | 2,0 | 1,4 | до МСПП |

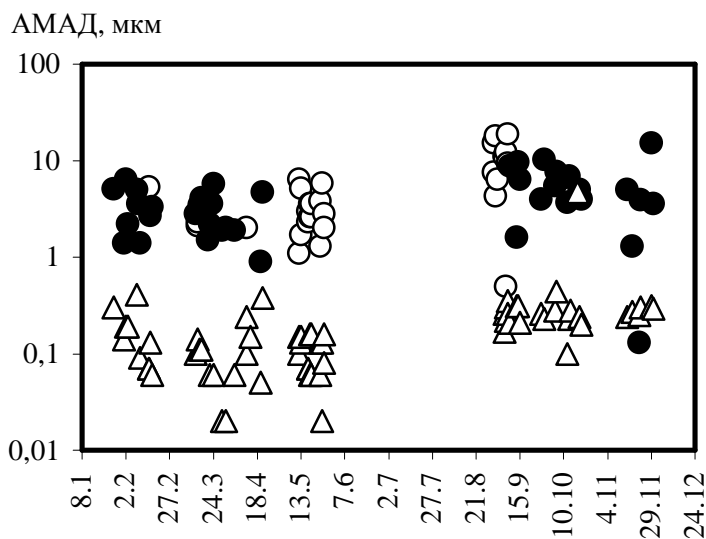


Рис. 4. АМАД аэрозолей-носителей суммы бета-излучающих нуклидов - продуктов чернобыльской аварии (○ - отбор проб в период работы СПП, ● - отбор проб в отсутствии СПП) и дочерних продуктов радона и торона (Δ) в «Байпасе» объекта «Укрытие» в 2005 г.

Из рис. 4 видно, что наиболее часто в «Байпас» поступали аэрозоли с АМАД 2 – 6 мкм. Такой состав носителей радионуклидов-продуктов чернобыльской аварии характерен и для других мест выброса неорганизованных воздушных потоков из объекта «Укрытие» [15]. Аэрозоли такого размера имеют невысокую скорость гравитационного осаждения и, выходя из вентиляционной трубы ВТ-2 на высоте 150 м, переносятся в атмосфере на большие расстояния. Их влияние на радиационную обстановку в локальной зоне объекта «Укрытие» минимально. К примеру, чтобы за счет гравитации частицам с аэродинамическим диаметром 10 мкм опуститься с высоты 150 м, потребуется почти 3 ч, а диаметром 1 мкм – около двух недель. За это время они будут унесены от ЧАЭС на многие километры.

Одновременно с отбором проб на пакеты трехслойных фильтров в ноябре были проведены измерения дисперсности аэрозолей в «Байпасе» с помощью пятикаскадного импактора, в котором последний каскад заменили фильтром АФА РМП-20. Методика проведения исследований с помощью импактора аналогична изложенной в [11].

Во всех случаях на четвертом каскаде и на аналитическом фильтре АФА РСР-20 частицы с размером меньше 1 мкм имели органическую природу.

Концентрации аэрозолей в «Байпасе» были сопоставлены со скоростями и направлением ветра во внешней среде. Все метеоданные были получены с метеостанции «Чернобыль», которая фиксирует результаты наблюдений каждые 3 ч. Метеостанция расположена в г. Чернобыль в 18 км к юго-востоку от ЧАЭС. На рис. 5 представлены данные для 53 проб, отобранных с конца января до конца ноября 2005 г. в «Байпасе», когда в объекте «Укрытие» не проводили работ с высокой генерацией аэрозолей или с пылеподъемом. Как и в предыдущие годы, увеличение скорости ветра приводило к увеличению концентраций радиоактивных аэрозолей чернобыльского генезиса в соответствии с уравнением $2,5 \cdot C_{\beta} = 1,5^V$. Здесь C_{β} - концентрация суммы бета-излучающих нуклидов (Бк/м³), V – максимальные порывы ветра (м/с) за период пробоотбора.

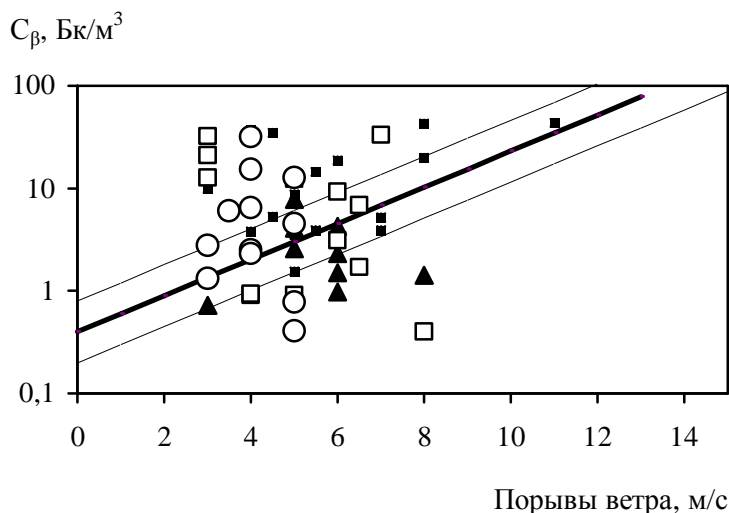


Рис. 5. Концентрации аэрозолей-носителей суммы β -излучающих нуклидов – продуктов Чернобыльской аварии в «Байпасе» объекта «Укрытие» в зависимости от максимальных порывов ветра во внешней среде в 2005 г. Обозначения: ■ – ветры северной четверти, ○ – восточной, ▲ – южной, □ – западной.

нению. К сожалению, в 2005 г. было мало дней с порывами ветра более 10 м/с, когда отчетливо проявляется увеличение C_β с ростом скорости ветра.

Выводы

В 2005 г. неорганизованный выброс бета- и альфа-активных аэрозолей через отверстия и проемы на верхних отметках объекта «Укрытие» оценен в 789 и 8,7 МБк соответственно.

Максимальная скорость выброса радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» пришлось на период с января по март, а также в декабре, и достигала величины 5 МБк/сут. Повышение скорости выброса в указанный период следует отнести в первую очередь за счет значительной разности температур внутри и снаружи объекта «Укрытие».

Наиболее часто в «Байпас» в 2005 г. поступали аэрозоли с АМАД 2 – 6 мкм. Такой состав носителей радионуклидов-продуктов чернобыльской аварии характерен и для других мест выброса неорганизованных воздушных потоков из объекта «Укрытие».

Концентрации аэрозолей-носителей бета-излучающих нуклидов находились в «Байпасе» в диапазоне 1 – 10 Бк/м³. Концентрации свыше 20 Бк/м³, как правило, приходились на сеансы пылеподавления, на периоды сильных ветров и интенсивных строительных работ.

Как по концентрациям радионуклидов, так и по дисперсному составу аэрозоли, поступающие в 2005 г. из центрального зала 4-го блока в «Байпас», а затем трубу ВТ-2, практически не изменились по сравнению с 2004 г.

Исследования аэрозолей с помощью импактора и электронной микроскопии показали, что частицы с размером меньше 1 мкм, как правило, имеют органическую природу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Огородников Б.И., Павлюченко Н.И. Наблюдения за концентрациями и составом радиоактивных аэрозолей в выбросах объекта «Укрытие» // Проблемы Чернобиля. - 2003. - Вып. 13. - С. 57 - 73.
2. 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.
3. Краснов В.А., Криницын А.П., Огородников Б.И. и др. Оценка воздействия модернизированной системы пылеподавления на радиационную обстановку внутри объекта «Укрытие» и на окружающую среду // Проблемы Чернобиля. - 2004. - Вып. 15. - С. 24 - 33.

4. *Состояние ядерной, радиационной и экологической безопасности объекта «Укрытие»: (Отчет) / Институт высоких технологий экспериментального машиностроения РНЦ «Курчатовский институт». - 1995.*
5. *Огородников Б.И., Павлюченко Н. И., Пазухин Э. М. Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие» (обзор). Часть 1. Аэрозольная обстановка на промплощадке ЧАЭС при строительстве объекта «Укрытие». - Чернобыль, 2002. - 47 с. - (Препр./ НАН Украины. МНТЦ «Укрытие», 02-4).*
6. *Павлюченко Н.И., Хан В.Е., Малюк И.А., Хоренко И. П. Мониторинг неорганизованных выбросов из объекта «Укрытие» // Проблемы Чернобиля. - 2001. - Вип. 7. - С. 368 - 378.*
7. *Огородников Б.И. Концепция аэрозольной фильтровальной станции при проектировании и эксплуатации объекта «Укрытие» // Там же. - 2002. - Вип. 10, ч. 1. - С. 230 - 235.*
8. *Поташиников П.Ф. Особенности дезактивационных работ на ЧАЭС // Чернобыль. Долг и мужество. - М.: 4-й филиал Воениздата, 2001. - Т. 1. - С. 68 - 92.*
9. *Некрестьянов С.Н., Леонтьев Г.Г., Гайко В.Б., Краснокурова Т.В. Разработка структуры комплекса технических средств системы контроля выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» ПО ЧАЭС через «Байпас»: (Отчет № 5-96-1020) / НИТИ. – Сосновый Бор, 1996.*
10. *Vidyka 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.*
11. *Павлюченко Н.И., Хан В.Е., Криницын 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.*
12. *Огородников Б.И. СПП: Хорошо, плохо, бесполезно? К проблеме пылеподавления в объекте «Укрытие» // Междунар. науч. сем. «Радиоэкология Чернобыльской зоны, 13 - 14 сент. 2004 г., Славутич, Украина: Тез. докл. – Славутич, 2004. – С. 15 - 16.*
13. *Отчет по результатам испытаний МСПП в летний период. SIP AOS2 03 4 SMT 0001. 3 ноября 2005 г. - Чернобыль, ИПБ АЭС НАН Украины, 2005.*
14. *Огородников Б.И., Сухоручкин А.К., Будыка А.К. и др. Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие» (обзор). Часть 3. Дисперсность радиоактивных аэрозолей. - Чернобыль, 2004. - 60 с. - (Препр. / НАН Украины. ИПБ АЭС; 04-4).*
15. *Огородников Б.И., Павлюченко Н.И., Будыка А.К., Краснов В.А. Пылеобразование в объекте «Укрытие» под воздействием техногенных и природных факторов // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. - 2005. - Вип. 3, ч. 1. - С. 31 - 44.*

Поступила в редакцию 23.03.06

10 КОНТРОЛЬ ВИКИДІВ РАДІОАКТИВНИХ АЕРОЗОЛІВ З ОБ'ЄКТА "УКРИТТЯ" В 2005 Р.

**В. Є. Хан, Б. І. Огородников, О. К. Калиновський,
П. М. Дубенко, В. Б. Рибалка, В. О. Краснов**

Наведено результати контролю викиду радіоактивних аерозолів з об'єкта "Укриття" в 2005 р. Максимальна швидкість неорганізованого викиду радіоактивних аерозолів з об'єкта "Укриття" припала на період із січня по березень, а також у грудні, і досягала 5 МБк/доб. Найбільш часто в систему "Байпас" в 2005 р. надходили аерозолі з медіанним за активністю аеродинамічним діаметром 2 – 6 мкм. Концентрації аерозолів-носіїв бета-випромінюючих нуклідів перебували в діапазоні 1 – 10 Бк/м³. Концентрації понад 20 Бк/м³ припадали на сеанси пилепригнічення, на періоди сильних вітрів та інтенсивних будівельних робіт.

10 CONTROL OF RELEASES OF RADIOACTIVE AEROSOLS FROM OBJECT "UKRYTTYA" IN 2005

**V. E. Khan, B. I. Ogorodnikov, O. K. Kalynovskiy,
P. N. Dubenko, V. B. Rybalka, V. A. Krasnov**

The results of the control of radioactive aerosol releases from object "Ukryttya" in 2005 are submitted. The maximal speed of unorganized releases of radioactive aerosols from object "Ukryttya" was on a period from January to March, and also in December, and reached 5 MBq/day. Most frequently in system "Bypass" in 2005 the aerosols with activity median aerodynamic diameter of 2 - 6 μm acted. The concentration of aerosols-carriers beta-radiating nuclides were within the range 1 - 10 Bq/m³. The concentration more than 20 Bq/m³ occurred during sessions of dust suppressing, for the periods of strong winds and intensive buildings work.