

ХАРАКТЕРИСТИКА АЭРОЗОЛЯ НЕОРГАНИЗОВАННЫХ ВЫБРОСОВ ОБЪЕКТА “УКРЫТИЕ”

Е. К. Гаргер, В. А. Кашпур, А. Д. Саженюк, Г. Г. Скоряк

Институт агроэкологии и биотехнологии УААН, Киев

А. Д. Гора, А. А. Курочкин

ЧАЭС, Славутич

Радиоактивный аэрозоль является одним из основных факторов радиационного влияния на персонал, работающий на строительной площадке и в локальной зоне объекта “Укрытие”. Оценки радиоактивного выброса из неорганизованных неплотностей площадью около 200 м², объемной активности и распределения ее по размерам частиц проведены для наибольших неплотностей и на территории, окружающей объект “Укрытие”. Отбор воздуха проведен с помощью фильтровентиляционных установок и импакторов с 1996 по 2003 г. Средний вклад ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в выбросах составлял 78,8, 21,16 и 0,4 % соответственно. Общая мощность выброса составила 8,64 · 10⁹ Бк год⁻¹ или 0,234 Ки·год⁻¹. Амплитуда изменчивости выбрасываемых концентраций ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am в воздухе достигала двух порядков величины, ⁹⁰Sr 25 раз, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu 15 раз. Средний взвешенный по числу экспериментов аэродинамический медианный по активности диаметр по данным 1996 - 2003 гг. составил для ¹³⁷Cs 2,6 мкм, для ⁹⁰Sr 2,8, для ²³⁹⁺²⁴⁰Pu 4,4 и для ²⁴¹Am 2,0. На территории вокруг объекта “Укрытие” средние объемные активности могли достигать 10 - 100 мБк·м⁻³ и более на удалении порядка 40 м от объекта “Укрытие”. В 250 м от объекта “Укрытие”, на строительной площадке, объемные активности достигали 3 - 10 мБк·м⁻³ при обычных метеоусловиях и без техногенной деятельности. На промплощадке распределение активности ¹³⁷Cs по размерам частиц отличалось от распределения в выбросах за счет заметного увеличения микронных и субмикронных частиц аэрозоля.

Введение

Сразу после создания объекта “Укрытие” в конце 1986 г. были начаты исследования процессов, протекающих внутри объекта “Укрытие”, и характеристик радиоактивного аэрозоля, поступающего в атмосферу [1 - 6]. Как отмечено в [1, 5], все многообразие аэрозолей объекта “Укрытие” можно разделить на два класса: аэрозоль, в состав которого входят тонкодисперсные частицы топливной матрицы, обычно обедненные летучими радионуклидами, и аэрозоли, радиоактивность которых была обусловлена адсорбцией осколочных радионуклидов. В работе [5] показано, что загрязненный воздух формируется в пространстве под крышей объекта “Укрытие” за счет грубо диспергированных частиц с медианным диаметром по активности около 5 мкм. Там же делается вывод о величинах аэродинамических медианных по активности диаметров (АМАД) частиц, равных 6 - 9 мкм и способных к вторичному подъему при интенсивном механическом воздействии. Интегральный запас топливной пыли (пыли за счет топлива) составляет около 5 т, из которых 100 кг могли бы быть приписаны к потенциальному загрязнению за счет вторичного подъема.

Условия, при которых строился объект, не позволили создать полностью герметическую конструкцию. Были созданы технологические и конструктивные неплотности, по которым радиоактивный аэрозоль выходит в окружающую среду. В [1] приведены данные измерения выпадений радиоактивных аэрозолей на вертикальные и горизонтальные планшеты у основных отверстий на крыше объекта “Укрытие”. Это были первые попытки, которые показали, что в течение наблюдений 1990 - 1993 гг. радиоактивные выбросы из неплотностей общей площадью ~ 206 м² были не более 1,11 · 10¹⁰ Бк / год (доля плутония составляла 0,4 - 1,2 %).

© Е. К. Гаргер, В. А. Кашпур, А. Д. Саженюк, Г. Г. Скоряк, А. Д. Гора, А. А. Курочкин, 2004

В настоящее время в связи с модификацией этого объекта и строительством «Укрытия-2» необходимо определить реальную величину радиоактивного выброса в приземный слой атмосферы. Для этого в настоящей работе используются прямые измерения объемной активности и распределение активности по размерам частиц аэрозоля для наибольших неплотностей (рис. 1) и вокруг объекта «Укрытие» (рис. 2). Для оценки ингаляционных доз работающих на промплощадке ЧАЭС измерялась средняя объемная активность основных дозообразующих нуклидов и распределение их активности по размерам частиц аэрозоля, определены АМАД и геометрические стандартные отклонения (ГСО).

Условия и методы измерений

С мая 1996 по декабрь 2000 г. имелось несколько больших неплотностей с площадями от 10 до 90 м² (см. рис. 1). При строительстве «Укрытия-2» требуется постоянное слежение за радиационными условиями на площадке объекта «Укрытие». Из карты-схемы промплощадки объекта «Укрытие» (см. рис. 2), следует, что строительная площадка может попадать в аэродинамическую тень от здания 4-го и 3-го блоков ЧАЭС. Экспериментальные измерения условий обтекания различных моделей промышленных зданий в аэродинамических трубах [7] и в натуральных условиях [8] показывают, что размер тени зависит от высоты и ширины здания. Известно, что за препятствием образуется циркуляционная ячейка в приземном слое воздуха с обратным (реверсным) течением протяженностью порядка двух высот препятствия [8]. В области ячейки вертикальный профиль скорости ветра имеет S-образную форму и только на удалении семи высот препятствия профиль скорости ветра восстанавливается. Абсолютные значения средней скорости ветра в этой зоне меньше скоростей в набегающем потоке приблизительно в 1,5 - 2,0 раза на соответствующих высотах. Таким образом, если максимальная высота объекта «Укрытие» равна 68 м, то величина тени в зависимости от направления набегающего потока может достигать 130 - 200 м и более. Оценки, приведенные в работе [9] при различных направлениях набегающего потока на объект «Укрытие», составляют 190 - 270 м, что также подтверждает, что обширная зона территории вокруг объекта может находиться в зоне потока, трансформированного зданием. Главной особенностью этой части потока является наличие повышенной турбулентности и обратного течения в нем. Иначе говоря, поле концентрации аэрозоля в пределах тени будет формироваться как набегающим потоком, так и реверсным течением.

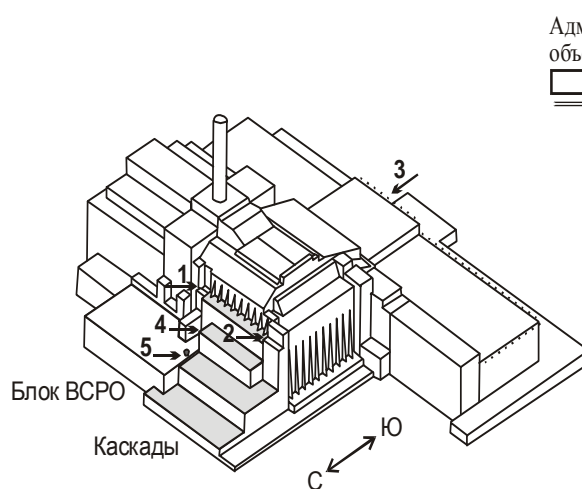


Рис. 1. Объект «Укрытие» и наибольшие горизонтальные и вертикальные неплотности, где были проведены измерения.

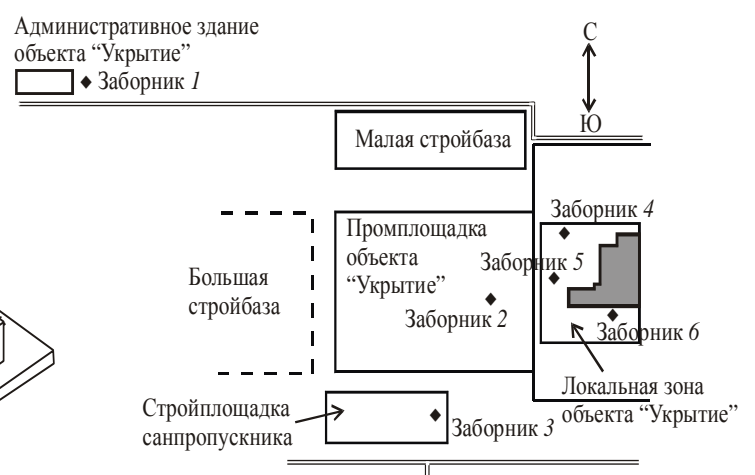


Рис. 2. Расположение фильтровентиляционных установок вокруг объекта «Укрытие»: 1 – ФВУ «Тайфун»; 2, 4, 5, 6 – ФВУ «Град»; 3 – ФВУ IP.

Учитывая расположение объекта “Укрытие” относительно частей света, а также вероятные направления ветра для этой местности, расположение заборников воздуха было рекомендовано севернее объекта “Укрытие” (заборник 4), западнее (заборник 5) и южнее (заборник 6) в пределах 40 - 100 м от здания “Укрытия”. Четвертое заборное устройство было расположено с западной стороны около пешеходной дорожки персонала, ведущей в здание объекта “Укрытие” (см. рис. 2). Оценка скорости потока радиоактивного аэрозоля из неплотностей в атмосферу проводилась с помощью портативного анемометра АWM-441 с интервалом измеряемых скоростей потока воздуха от 0,05 до 30,0 м·с⁻¹ (вся площадь неплотности делилась на равные прямоугольники, в центре которых проводились измерения скорости потока) и аэрозольного заборника IPSN. Распределение активности по размерам частиц проводилась импакторами ИБФ и РМ10, характеристики которых приведены в табл. 1 и 2 [10, 11].

Таблица 1. Интегральные заборники аэрозоля, использованные для радиационного мониторинга вокруг объекта “Укрытие”

| Тип заборника | Расход воздуха, м ³ ·ч ⁻¹ | Размер фильтра (м) и его материал | Примечание |
|------------------------|---|-----------------------------------|--------------|
| “Тайфун” НПО Тайфун | 4170 | 1,55 x 0,34 ткань Петрянова | |
| “Град“ НПО Тайфун | 400 | 0,77 x 0,34 ткань Петрянова | 4 экземпляра |
| Andersen | 67,8 | 0,20 x 0,30 Whatman-441 | |
| IPSN | 70 | 0,20 x 0,30 Whatman-441 | |

Таблица 2. Импакторы, использованные для оценки распределения активности аэрозольных частиц по размерам

| Тип импактора | Расход воздуха м ³ ·ч ⁻¹ | Граничные размеры каскадов, мкм | Примечание |
|---------------|--|---------------------------------|---|
| Andersen РМ10 | 67,8 | 4,9, 2,3, 1,4, 0,8, <0,8 | Внутри неплотностей и вокруг объекта “Укрытие “ |
| ИБФ [13] | 1,05 | 29, 14, 5,4, 1,6, 0,56, <0,56 | |

На промплощадке и в локальной зоне объекта “Укрытие” измерения были осуществлены с помощью фильтровентиляционной установки “Тайфун”, “Градиент” и импакторов ИБФ, РМ10. Для измерений ¹³⁷Cs на фильтрах использовался гамма-спектрометр на основе полупроводникового детектора GMX-30190 (эффективность 32,5 %, энергетическое разрешение 1,89 кэВ на линии 1,33 МэВ) и многоканальный буфер Spectrum Master фирмы Ortec Inc. USA. Концентрирование и выделение без носителей ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ²⁴¹Am из аэрозольных фильтров и выщелачивающих растворов проводилось по радиохимической методике [12]. Источники для альфа-спектрометрических измерений готовили электрохимическим осаждением плутония, америция на диски полированной нержавеющей стали из серноокислого раствора с рН 2,1. Содержание альфа-излучающих радионуклидов плутония и америция измеряли на восьмиканальном альфа-спектрометре Octete PC (Ortec Inc.) с полупроводниковыми кремниевыми детекторами серии Ultra с эффективностью регистрации > 25 %. Собственный фон для области энергии выше 3 МэВ не более чем 1 имп./ч, энергетическое разрешение 19 кэВ на линии 5,486 МэВ (²⁴¹Am). Радиометрическое определение ⁹⁰Sr после радиохимического выделения производили на 10-канальной установке LB 770PC (Berthold) с собственным фоном 0,45 ± 0,12 имп./мин. Детальную информацию можно найти в [12, 14].

Результаты и обсуждение

В 1996 - 2000 гг. были проведены серии измерений для оценки выбросов радиоактивных частиц из наибольших неплотностей общей площадью 200 м², используя выражение [4]

$$Q_j = \sum q_i \cdot A_i \cdot V_i,$$

где Q_j (Бк м⁻² с⁻¹) есть суммарный средний поток радиоактивного аэрозоля из j неплотности, которая разделена на N прямоугольников. Измерения скорости ветра V_i (м·с⁻¹) и направления потока были проведены в центре каждого прямоугольника с площадью A_i (м²). Измерения средней объемной активности и распределение активности по размерам частиц проводились с помощью заборника IPSN и импакторов ИБФ или РМ 10, которые располагались на входе неплотностей.

Оценка среднего вклада ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в выбросе составили 78,80, 21,16 и 0,4 % соответственно. Суммарная скорость выброса этих нуклидов равнялась 274,1 (Бк·с⁻¹) или 8,64·10⁹ Бк·год⁻¹ (0,234 Ки·год⁻¹). С 2001 г. проводились продолжительные серии измерений средней объемной активности и распределение активности по размерам частиц на различных расстояниях от объекта “Укрытие”, что позволило оценить временную пространственную изменчивость объемной активности аэрозоля, выходящего из неплотностей объекта “Укрытие”.

На рис. 3 представлены данные объемной активности ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am, ⁷Be, ⁹⁰Sr, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, измеренные на входе вертикальной неплотности около крыши машинного зала между осями 41 - 49 на высотной отметке +36,5. Рис. 3 также иллюстрирует корреляцию изменений концентраций ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ²⁴¹Am в различные моменты времени. Временной ход ⁷Be слабо менялся со временем, учитывая космогенное происхождение этого нуклида, независимого от выбросов из объекта “Укрытие”. В этот период наблюдений зафиксированы два периода с максимальными по величине выбросами радиоактивного аэрозоля в приземный слой атмосферы. Значения объемной активности в эти периоды превышали по ¹³⁷Cs 100, по ⁹⁰Sr 50 и по ²³⁹⁺²⁴⁰Pu 0,8 мБк/м³. Амплитуды колебаний концентраций ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am достигали двух порядков величины, ⁹⁰Sr - 25 раз, а ²³⁹⁺²⁴⁰Pu - 15 раз.

Следует отметить, что измерения были проведены с помощью заборника РМ10, который отсекает частицы с аэродинамическими диаметрами, превосходящими 10 мкм. Это означает, что реальная объемная активность может быть больше из-за наличия в воздушном потоке на этих расстояниях от объекта “Укрытие” частиц с большими размерами, которые обычно более активны по абсолютной величине [21]. Учитывая результаты работы [12], флуктуации концентрации, осредненные за период времени меньший, чем 2 - 7 сут, могут быть в два - три раза большими, чем представленные на рис. 3.

На рис. 4 показаны результаты измерений двух наземных заборников. В течение всего периода наблюдений наибольшие значения объемной активности были зафиксированы на южной стороне объекта “Укрытие”, где расположен Град-1.8 в 40 м от южной стены объекта. Можно видеть резкое увеличение объемной активности в период с 14 по 23.11.01. Концентрации достигали для ¹³⁷Cs 142, для ⁹⁰Sr 115 и для ²³⁹⁺²⁴⁰Pu 3,55 мБк·м⁻³. Повидимому, заборник Град-1.8 был в струе выброса, что и дало возможность зафиксировать большие объемные активности радионуклидов при обычных погодных условиях. Эти средние значения активности были несколько выше, чем результаты, полученные РМ10 у выхода из вертикальной неплотности в то же время, что связано с отсечкой частиц, больших 10 мкм по аэродинамическому диаметру. Данные заборника Град-1.8 могут служить характерной величиной объемной активности в приземном слое на строительной площадке при расчетах возможных ингаляционных доз рабочих. В отличие от этих данных по измерениям ФВУ “Тайфун” у административного корпуса Объекта “Укрытие” (~ 800 м) были получены объемные активности ¹³⁷Cs порядка 1 мБк/м³.

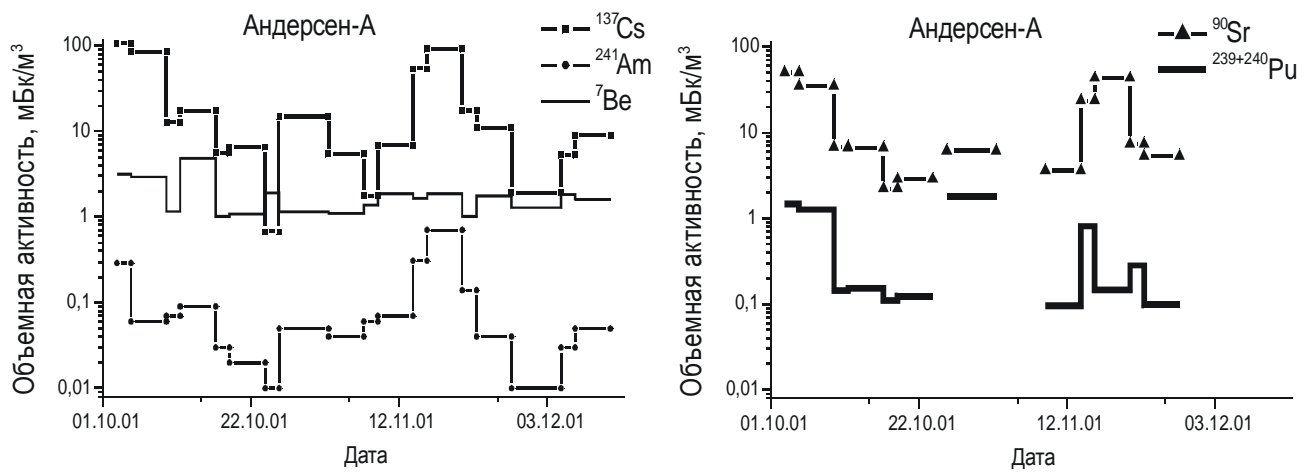


Рис. 3. Изменение во времени объемных активностей ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^7Be в потоке воздуха из вертикальной неплотности между осями 41 - 49 на отметке +36.5 в период 03.10 - 12.12.01.

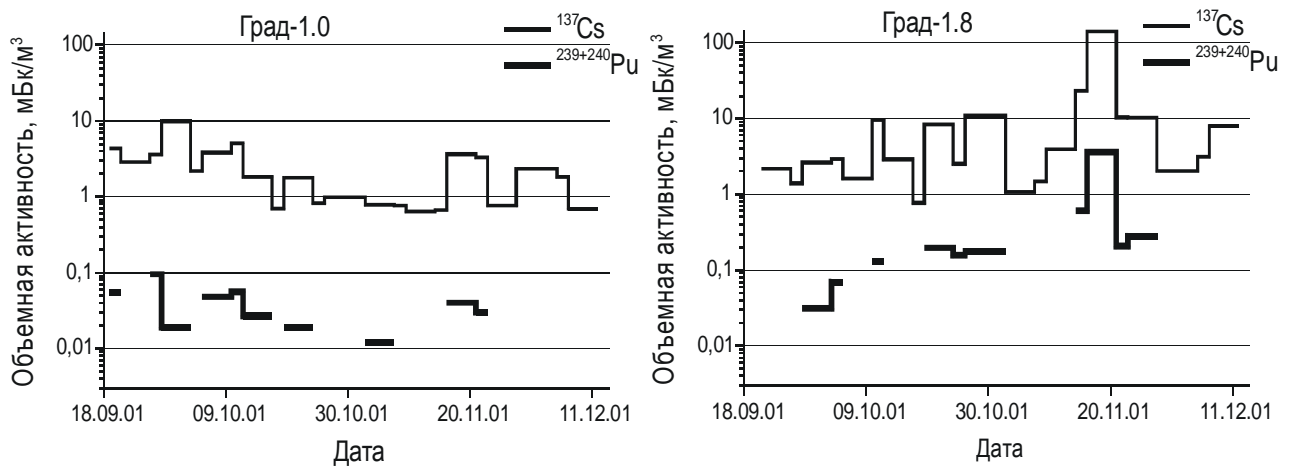


Рис. 4. Изменение во времени объемных активностей ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ в приземном слое атмосферы локальной зоны объекта "Укрытие" (Град-1.0, Град-1.8 19.09 - 12.12.01).

Характеристика распределений активности по размерам частиц аэрозоля

Измерения с помощью импакторов позволили получить распределения активности по размерам частиц аэрозоля в потоках, исходящих из основных неорганизованных неплотностей в осенний период 1996 - 1999 гг., а также в тот же период 2001 - 2003 гг. В табл. 3 приведены основные параметры распределения активности частиц. Измерения ^{241}Am были проведены γ -спектрометром и радиохимическим методом. Только фильтры с высокими значениями ^{137}Cs были обработаны с помощью радиохимического метода.

Из табл. 3 видно, что вариабельность объемной активности имела один порядок величины в обоих периодах измерений. Нетрудно заметить, что объемная активность в 1996 - 1999 гг. была выше, чем в 2001 - 2003 гг. (табл. 4), что было связано с закрытием нескольких неплотностей после получения данных измерений 1996 - 1997 гг. Хорошо видно, что в 1996 г. и 1997 г. исходящий поток радиоактивных частиц был больше потока в объект "Укрытие" на один порядок величины. В 1999 г. был проведен только один совместный радиохимический анализ четырех проб аэрозолей. АМАД и ГСО практически не

Таблица 3. Основные характеристики распределений активности по размерам частиц по измерениям в неплотностях объекта “Укрытие” в 1996, 1997 и 1999 гг.

| Период измерений | Объемная активность, мБк·м ⁻³ | АМАД, мкм | ГСО | Расположение неплотности, направление потока, импактор |
|--|--|------------|-------------|--|
| ¹³⁷ Cs 30.10 – 05.11.96 16.07 – 28.10.97 (6) | 464 ± 625 | 2,0 ± 0,5 | 3,8 ± 1,6 | Горизонтальная неплотность, место прилегания каскада 4 к блокам 3 и 4, отметка 42.8 Исходящий поток частиц из объекта “Укрытие” |
| ¹³⁷ Cs 12.07 – 16.07.97 | 85,8 | 1,9 | 7,1 | Поток частиц в объект “Укрытие” |
| ⁹⁰ Sr 02.11 – 05.11.96 | 135 | 13,0 | 2,9 | |
| ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu 02.11 – 05.11.96 | 2,0 | 3,5 | 5,4 | Измерения проведены импактором ИБФ |
| ²⁴¹ Am 02.11 – 05.11.96 16.07 – 28.10.97 (5) | 5,1 ± 7,8 | 1,7 ± 0,6 | 4,1 ± 1,1 | |
| ¹³⁷ Cs 09.10 – 30.10.97 (5) | 16,6 ± 22,8 | 2,0 ± 0,4 | 3,3 ± 2,1 | Горизонтальная неплотность над каскадами 3 и 4, исходящий поток частиц из объекта «Укрытие» |
| 17.10 – 21.10.97 | 3,2 | 1,8 | 1,8 | Поток частиц в объект «Укрытие» Измерения проведены РМ10 |
| ¹³⁷ Cs 06.11 – 15.11.96 18.07 – 22.07.97 (3) | 534 ± 407 | 3,0 ± 1,0 | 6,3 ± 1,2 | Вертикальная неплотность, место прилегания каскада 3 к блоку 3, отметки 30.8 - 36.3, исходящий поток частиц из объекта «Укрытие» |
| 22.07 – 24.07.97 | 72,8 | 2,5 | 6,3 | Поток частиц в объект «Укрытие» |
| ⁹⁰ Sr 06.11 – 12.11.96 | 184 | 3,1 | 6,8 | Исходящий поток частиц из объекта “Укрытие” |
| ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu 06.12 – 12.11.96 | 2,6 | 15 | 5,5 | |
| ²⁴¹ Am 06.11 – 15.11.96 18.07 – 22.07.97 (3) | 3,3 ± 2,1 | 1,4 ± 0,6 | 4,0 ± 2,2 | Измерения проведены импактором ИБФ |
| ¹³⁷ Cs 17.11 – 19.11.99 19.11 – 23.11.99 | 14,6 11,7 | 4,1 5,6 | 10,0 4,2 | Южная неплотность между отметками 36.0 - 37.0. Измерения проведены импактором ИБФ. Поток частиц в объект “Укрытие” |
| 23.11 – 26.11.99 | 45,9 | 7,2 | 8,5 | |
| 26.11 – 30.11.99 | 409,8 | 5,1 | 7,0 | ½ периода времени поток частиц был направлен в объект «Укрытие» и ½ из него |
| ²⁴¹ Am 17.11 – 19.11.99 | 0,33 | 1,0 | 7,3 | |
| 19.11 – 23.11.99 | 0,55 | 1,7 | 6,2 | Исходящий поток частиц из объекта “Укрытие” |
| 23.11 – 26.11.99 | 0,71 | 1,7 | 6,9 | |
| 26.11 – 30.11.99 | 2,23 | 1,05 | 7,6 | |
| ⁹⁰ Sr 17.11 – 30.11.99 | 38,8 | 4,5 | 7,5 | Объединенные за весь период забора пробы аэрозоля |
| ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu 17.11 – 30.11.99 | 0,9 | 6,0 | 4,8 | |

Примечание. В скобках указано число экспериментов, в этой же строке указаны средние величины характеристик и их стандартное отклонение.

Таблица 4. Основные характеристики распределений активности по размерам частиц по измерениям в неплотностях объекта “Укрытие” в 2000 - 2003 гг.

| Период измерений | Объемная активность, МБк·м ⁻³ | АМАД, мкм | ГСО | Расположение неплотности, направление потока, импактор |
|---|---|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| ¹³⁷ Cs 18.08 – 30.08.00 (4) ²⁴¹ Am (4) | 20,9 ± 13,3 0,33 ± 0,26 | 2,2 ± 0,3 1,0 ± 0,2 | 5,9 ± 0,8 4,0 ± 1,5 | Неплотность на южной стене машинного зала объекта “Укрытие”. Исходящий поток частиц из объекта “Укрытие” Измерения проведены импактором ИБФ |
| ¹³⁷ Cs 05.10 – 05.12.01 (4) ²⁴¹ Am (4) | 33,5 ± 28,0 1,36 ± 1,50 | 6,8 ± 6,9 2,6 ± 1,6 | 6,8 ± 2,6 6,6 ± 1,0 | Вертикальная неплотность в месте примыкания стены к крыше машинного зала, вдоль ряда “А” на отметке +36,4 Исходящий поток частиц из объекта “Укрытие”. Измерения проведены импактором ИБФ |
| ¹³⁷ Cs 04.09 -03.12.02 (11) ⁹⁰ Sr 01.10 – 03.10.02 28.10 – 31.10.02 ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu 01.10 – 03.10.02 28.10 – 31.10.02 | 8,08 ± 5,87 0,55 5,69 0,07 0,12 | 1,7 ± 0,8 2,0 2,9 2,0 2,0 | 3,5 ± 1,4 3,0 3,2 3,3 1,8 | Неплотность на южной стене машинного зала объекта “Укрытие”. Исходящий поток частиц из объекта “Укрытие” Измерения проведены импактором РМ10 |
| ¹³⁷ Cs 21.10 – 04.11.03 02.12 – 10.12.03 (3) 17.10 – 02.12.03 (3) | 13,75 ± 1,96 1,29 ± 1,0 | 3,5 ± 0,6 2,2 ± 0,3 | 1,8 ± 0,6 2,0 ± 0,6 | Неплотность на южной стене машинного зала Исходящий поток частиц из объекта “Укрытие” Измерения проведены импактором РМ10. Поток частиц в объект “Укрытие” |

Примечание. В скобках указано число экспериментов, в этой же строке указаны средние величины характеристик и их стандартное отклонение.

изменились по порядку величины в отличие от изменений величин объемной активности в 1999 г. по сравнению с 1996 - 1997 гг. Это позволило рассчитать средневзвешенный по числу наблюдений АМАД по данным 1996 - 1999 гг. Характеристики распределений составили для ¹³⁷Cs 2,4 мкм, для ⁹⁰Sr 6,1, для ²³⁹⁺²⁴⁰Pu 11, для ²⁴¹Am 1,5, для АМАД и ГСО - 4,6, 5,5, 5,5, 4,4 соответственно.

В 2000 - 2003 гг. средневзвешенный АМАД для ¹³⁷Cs был равен 3,6 мкм, а ГСО 1,8. Две серии измерений показали, что медианные диаметры для стронция, плутония и америция были порядка 2,0 - 3,0 мкм. На рис. 5 представлены распределения активности по размерам частиц для ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, которые были оценены по измерениям в исходящем потоке из объекта “Укрытие” в северной неплотности в 1996 г. Из рисунка видно, что функции распределений были широкими и имели два максимума для грубо- и тонкодисперсного аэрозоля. Плотность вероятности активности для интервала субмикронных частиц была минимальна для ²³⁹⁺²⁴⁰Pu и максимальна для ¹³⁷Cs.

Рис. 6, а демонстрирует распределение активности ¹³⁷Cs по размерам частиц в исходящем потоке из южной неплотности объекта “Укрытие”, а на рис. 6, б распределение активности ¹³⁷Cs по размерам частиц на расстоянии 40 м от южной стены объекта “Укрытие”. Хорошо видно, что в потоке из объекта “Укрытие” распределения были с одной модой и небольшими плотностями вероятности активности для субмикронного интервала

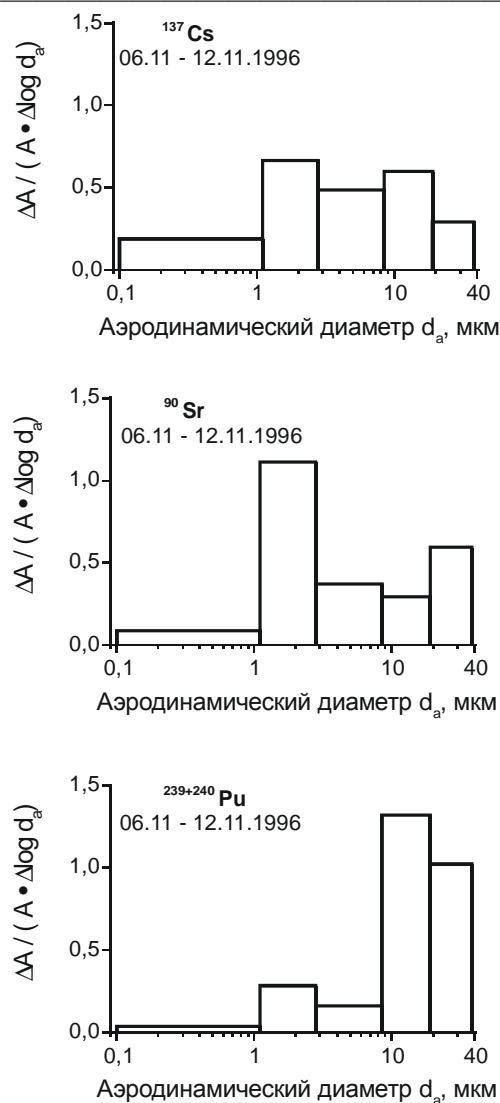


Рис. 5. Распределения активности ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ по размерам частиц аэрозоля в выходящем потоке из северной неплотности объекта «Укрытие» в 1996 г.

частиц аэрозоля. В то же время распределение активности по размерам частиц на отдалении 40 м от южной стены объекта «Укрытие» у земли было широким со значительной частью субмикронных частиц аэрозоля и появлением второй моды для тонкодисперсной фракции частиц. Причинами могут быть быстрое выпадение наиболее крупных частиц и вторичный подъем тонкодисперсных частиц с загрязненной почвы вокруг здания объекта «Укрытие» в нижней части реверсного течения.

Иначе говоря, данные рис. 6, б иллюстрируют трансформацию эмпирического распределения активности ^{137}Cs по размерам частиц. Доля тонкодисперсных частиц и, в частности, субмикронных частиц увеличивается с удалением от объекта «Укрытие».

Измерения на площадке объекта «Укрытие»

В работе [10] приведены данные об объемной активности ^{137}Cs и характере распределений активности по размерам частиц вокруг объекта «Укрытие». Эти данные приведены в табл. 5, где представлены также более поздние измерения в 60 м от северной стены объекта «Укрытие» (1997 г. - серия 1), измерения на южной стороне объекта «Укрытие» (~ 40 м в 2002 г., серия 2), около 250 м от объекта «Укрытие» в юго-западном направлении (серия 3). Все измерения были проведены с помощью РМ10.

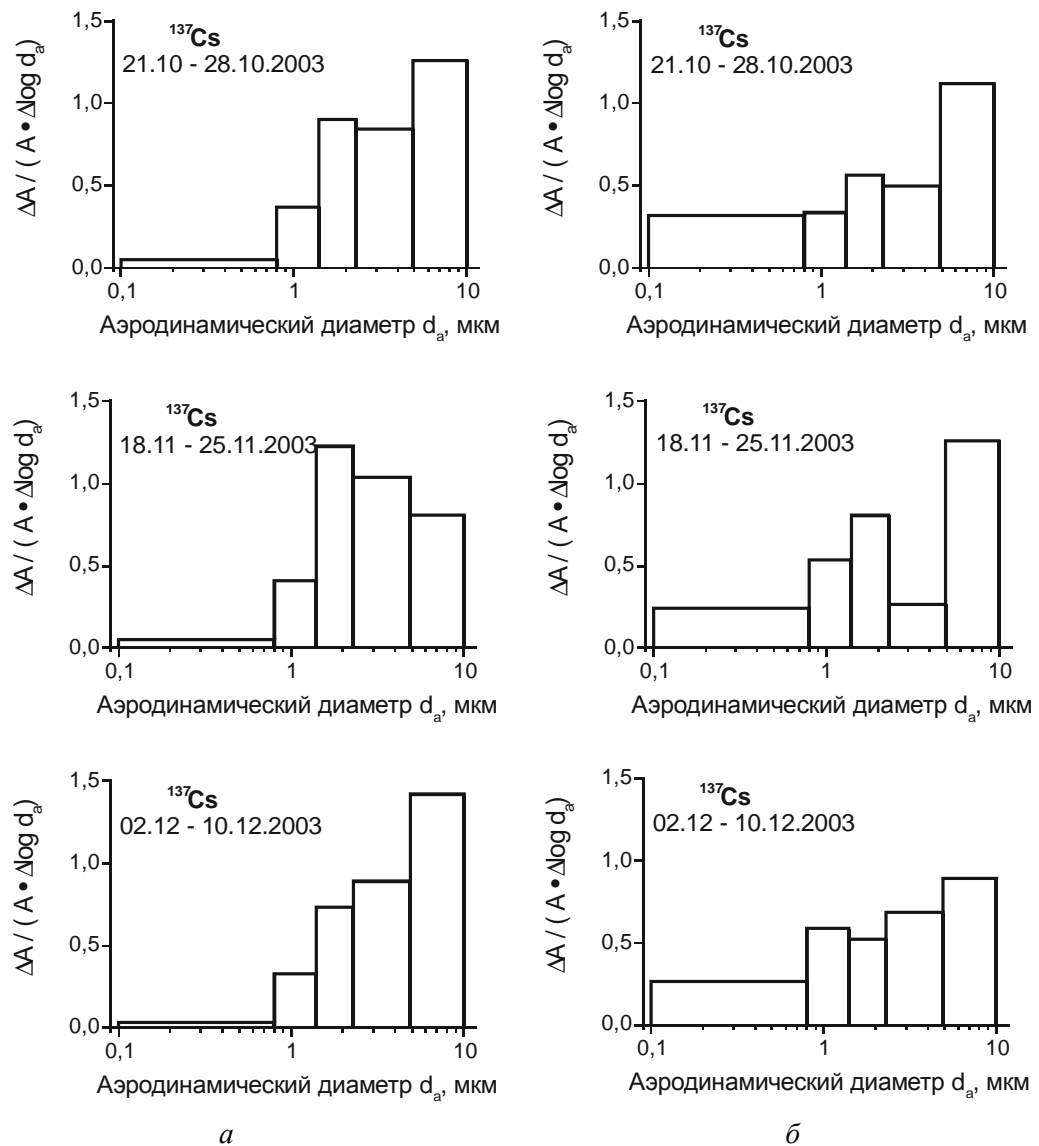


Рис. 6. Распределение активности ^{137}Cs по размерам частиц аэрозоля в исходящем потоке из южной горизонтальной неплотности (*a*) и в 40 м от южной стены объекта “Укрытие” (*б*).

Отметим, что по наблюдениям с южной стороны объемная активность колебалась в пределах 1 - 1,5 величины с максимальной средней объемной активностью $10 \text{ мБк} \cdot \text{м}^{-3}$. АМАД менялся в пределах 3 - 5 раз с минимальным средним значением 0,7 мкм, а ГСО - в пределах 2 - 3 раз.

На расстоянии около 250 м наблюдения были проведены в 2002 г. (четыре серии измерений) и в 2003 г. (10 серий).

Данные можно было разделить на две группы с объемной активностью меньше $1 \text{ мБк} \cdot \text{м}^{-3}$ и с объемной активностью больше этой величины. В первой группе средний АМАД находился в диапазоне микронных частиц, во второй группе он был меньше и равен $(0,57 \pm 0,06)$ мкм. Учитывая, что реальные частицы радиоактивного аэрозоля имеют большую плотность, то, по-видимому, геометрический диаметр частиц мог иметь значительно меньшую величину. Среднее значение ГСО менялось от 0,3 для частиц со средним значением АМАД 0,57 мкм и до 2,1 и 4,7 для медианных диаметров 2,2 и 1,2 мкм соответственно.

Измерения в г. Припять могут рассматриваться как фоновые значения относительно площадки объекта “Укрытие”, так как он далеко расположен от объекта “Укрытие”. Девять серий измерений были проведены в г. Припять с помощью импактора РМ10 в 1996, 1997, 1999 и 2000 гг. По данным табл. 5 можно сравнить характеристики, полученные в г. Припять, с характеристиками распределений активности ^{137}Cs , полученных в работе [15] в г. Припять

в 1987 -1992 гг. Из таблицы хорошо видно, что в течение упомянутых периодов времени радиационные условия в воздухе г. Припять изменились в основном благодаря дезактивационным работам, очень слабой практической деятельности и времени. Объемная активность уменьшилась за этот период времени на один порядок величины и составила $(0,34 \pm 0,18)$ мБк·км⁻³, значение АМАД так же уменьшилось до значения в $1,2 \pm 0,1$ мкм.

Таблица 5. Основные характеристики распределений активности по размерам частиц по измерениям вокруг объекта “Укрытие”

| Период и число серий измерений | Объемная активность, мБк·м ⁻³ | Медианный диаметр d _m , мкм | Геометрическое стандартное отклонение σ _g |
|--|--|--|--|
| Измерения, проведенные в 60 м от северной стены объекта “Укрытие” | | | |
| 10.07 – 31.07.97 (7) | 2,2 ± 1,2 | 2,2 ± 1,1 | 4,3 ± 2,4 |
| Измерения, проведенные в 40 м от южной стены объекта “Укрытие” | | | |
| 05.11 – 15.11.02 (3) | 9,95 ± 8,64 | 0,7 ± 0,5 | 3,1 ± 1,7 |
| 12.08 – 30.09.03 (7) | 0,97 ± 0,42 | 3,6 ± 0,8 | 4,3 ± 1,3 |
| 30.09 – 10.12.03 (10) | 0,33 ± 0,17 | 2,1 ± 0,3 | 2,2 ± 0,4 |
| Измерения, проведенные в 250 м от объекта “Укрытие” с юго-западном направлении | | | |
| Среднее и стандартное отклонение | | | |
| 30.07 – 07.12.02 (4) | | | |
| 07.08 – 16.10.03 (10) | 0,87 ± 0,23 | 1,2 ± 0,1 | 4,7 ± 0,9 |
| 7 серий при A < 1.0 | 0,79 ± 0,20 | 2,1 ± 0,6 | 2,1 ± 0,9 |
| 3 серии при A > 1.0 | 3,36 ± 2,26 | 0,57 ± 0,06 | 0,33 ± 0,15 |
| Измерения в г. Припять | | | |
| 1987 – 1992 (17) | 2,44 ± 2,19 | 5,4 ± 3,2 | 1,7 ± 1,2 |
| 1996 – 2000 (9) | 0,34 ± 0,18 | 1,2 ± 0,1 | 4,7 ± 1,0 |

Выводы

Измерения радиоактивных частиц, выброшенных в атмосферу из неорганизованных неплотностей объекта “Укрытие” общей площадью 200 м² были проведены в 1996 - 2000 гг. Оценки среднего вклада ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в выбросах составили 78,80, 21,16 и 0,4 % соответственно. Общая мощность выброса этих нуклидов из неорганизованных неплотностей была равной 274,1 Бк/с или 8,64 · 10⁹ Бк/год (0,234 Ки/год).

Оценка изменчивости объемной активности, выбрасываемой в приземный слой атмосферы показала, что амплитуда изменчивости концентраций ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am в воздухе достигала двух порядков величины, ⁹⁰Sr 25 раз, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu 15 раз. В связи с этим максимальная концентрация ¹³⁷Cs для малых времен наблюдений может иметь величины большие в несколько раз [12], т.е. максимальная средняя концентрация при осреднении за 1 - 2 ч может достигать величины в 1 Бк/м³.

Средние за 2 - 5 сут максимальные объемные активности 142 мБк/м³ для ¹³⁷Cs, 115 для ⁹⁰Sr и 3,55 для ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, измеренные с помощью заборника Град-1.8, могут быть использованы для оценки ингаляционной дозы рабочих на площадке объекта.

Средние АМАД, определенные по данным 1996 - 2003 гг. и взвешенные по числу экспериментов, составили для ¹³⁷Cs 2,6, для ⁹⁰Sr 2,8, для ²³⁹⁺²⁴⁰Pu 4,4, для ²⁴¹Am 2,0 мкм.

Измерения на территории вокруг объекта “Укрытие” показали, что средние объемные активности были большими на коротких расстояниях от объекта “Укрытие”, в особенности с южной стороны, и могли достигать 10 - 100 мБк/м³. Измерения, проведенные в 250 м от объекта “Укрытие” в юго-западном направлении, где планировались и уже начались строительные работы, средние объемные активности достигали 3 - 10 мБк/м³ при обычных метеоусловиях и без техногенного подъема пыли.

На промплощадке объекта “Укрытие” распределение активности по размерам частиц нередко является широким со значительной долей микронных и субмикронных аэродинамических частиц. Благодаря дезактивационным работам и слабой техногенной деятельности в г. Припять в 1996 - 2000 гг. средняя объемная активность уменьшилась на один порядок величины по сравнению с периодом 1987 - 1992 гг. В период 1996 - 2000 гг. средний АМАД в г. Припять был равен 1,2 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воздействие* объекта “Укрытие” на окружающую среду (выброс радиоактивных аэрозолей): (Отчет КЭ) / ИАЭ им. И.В. Курчатова. - М., 1990 .
2. *Боровой А.А.* Внутри и вне Саркофага // *Природа*. - 1990. - № 11. - С. 83 - 90 .
3. *Богатов С.А., Боровой А.А., Дубасов Ю.В., Ломоносов В.В.* Формы и характеристики топливных частиц в период Чернобыльской аварии // *Атомная энергия*. - 1990. - Т. 69. - № 1 - С. -36 - 40.
4. *Боровой А.А.* Выброс ядерного топлива и продуктов деления из реактора 4-го блока ЧАЭС при аварии (Обзор). - Чернобыль, 2000. -15 с.- (Препр. / НАН Украины. МНТЦ “Укрытие”; 00-10).
5. *Богатов С.А.* Оценка запасов и определение свойств пылевого загрязнения в подкровельном пространстве объекта “Укрытие”. - Чернобыль, 2000. -16 с. (Препр. / НАН Украины МНТЦ “Укрытие”; 00-2).
6. *Боровой А.А., Гагаринский А.Ю.* Выброс радионуклидов из разрушенного блока Чернобыльской АЭС // *Атомная энергия*. - Февраль 2001. - Т. 90, вып. 2. - С. 137 - 145.
7. *Meteorology and Atomic Energy.* David H. Slade, editor. U. S. Atomic Energy Commission, July 1968.
8. *Гаргер Е.К., Жуков Г.П., Лукоянов Н.Ф.* Изучение рассеяния примеси от низких источников при наличии одиночного припятствия // *Тр. ИЭМ*. - 1988. - Вып. 46 (136). - С. 106 - 114.
9. *Богатов С.А.* Применение рекомендаций ОНД-86 для расчетов воздушного распространения примеси за пределы объекта “Укрытие”. - Чернобыль, 2000. - 20 с. - (Препр. / НАН Украины. МНТЦ “Укрытие”; 00-3).
10. *Гаргер Е.К., Каушур В.А.* Исследование объекта “Укрытие” как источника радиоактивного аэрозоля в приземном слое атмосферы. Разработка регламента контроля неорганизованных выбросов радиоактивного аэрозоля из ОУ. - Т.1, 2, 3 / ИАБ УААН, 2000.
11. *Garger E.K., Kashpur V., Belov G. et. al.* Measurement of resuspended aerosol in the Chernobyl area I. Discussion of instrumentation and estimation of measurement uncertainty // *Radiat. Environ. Biophys.* - 1997. - Vol. 36: - P. 139 - 148.
12. *Ageev V.A., Odintsov A.A., Sajeniouk A.D.* The rapid radiochemical method for determination of ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am and ^{244}Cm in the aerosol filter, by ion-exchange chromatography // *Proceedings of the Sixth International Conference on Methods and Application of Radioanalytical Chemistry (MARC VI)*. April 1 - 11, 2003, Kailua-Kona, Hawaii, USA, p. 64 - 65.
13. *Frank G., Kashparov V., Protsak V., Tschiersch J.* Comparison measurements of a Russian standard aerosol impactor with several western standard aerosol instruments // *J. Aerosol Sci.* - 1996. - Vol. 27, No. 3. - P. 477 - 486.
14. *Гаргер Е.К., Каушур В.А., Корнеев А.А., Курочкин А.А.* Результаты исследований выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта “Укрытие” // *Проблеми Чернобиля*. - 2002. - Вип. 10, ч.2. - С. 60 - 71.
15. *Garger E.K., Kashpur V.A., Gurgula et al.* Statistical characteristics of the activity concentration in the surface layer of the atmosphere in the 30km zone of Chernobyl // *J. Aerosol Sci.* - 1994. - Vol. 25, No. 5. - P. 767 - 777.
16. *Garger E.K., Kashpur V., Paretzke H.G., Tschiersch J.* Measurement of resuspended aerosol in the Chernobyl area. Part II. Size distribution of radioactive particles // *Radiat Environ Biophys.* - 1998. - Vol. 36. - P. 275 - 283.
17. *Garger E.K., Sazhenyuk A.D., Odintzov A.A. et al.* Solubility of airborne radioactive fuel particles from the Chernobyl reactor and implication to dose // *Radiat Environ Biophys.* - 2004. - Vol. 4. - P. 43 - 49.
18. *Агеев В.А., Выричек С.Л., Ключников А.А и др.* Оценка содержания $^{242\text{m}}\text{Am}$ в топливе 4 блока ЧАЭС // *Атомная энергия*. - 1998. - Т. 84. - С. 340 - 344.

Поступила в редакцию 13.10.04,
после доработки - 29.11.04.

3 ХАРАКТЕРИСТИКА АЭРОЗОЛЯ НЕОРГАНИЗОВАННЫХ ВЫБРОСОВ ОБЪЕКТА “УКРЫТИЕ”

Гаргер Е.К., Кашпур В.А., Сажениук А.Д., Скоряк Г.Г., Гора А.Д., Курочкин А.А.

Радиоактивный аэрозоль является одним из основных факторов радиационного влияния на персонал, работающий на строительной площадке и в локальной зоне объекта “Укрытие”. Оценки радиоактивного выброса из неорганизованных неплотностей площадью около 200 м², объемной активности и распределения ее по размерам частиц проведены для наибольших неплотностей и на территории, окружающей объект “Укрытие”. Отбор воздуха проведен с помощью фильтровентиляционных установок и импакторов с 1996 по 2003 г. Средний вклад ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в выбросах составлял 78,8, 21,16 и 0,4 % соответственно. Общая мощность выброса составила 8,64 · 10⁹ Бк/год или 0,234 Ки/год. Амплитуда изменчивости выбрасываемых концентраций ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am в воздухе достигала двух порядков величины, ⁹⁰Sr 25 раз, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu 15 раз. Средний взвешенный по числу экспериментов АМАД по данным 1996 - 2003 гг. составил для ¹³⁷Cs 2,6 мкм, для ⁹⁰Sr 2,8, для ²³⁹⁺²⁴⁰Pu 4,4 и для ²⁴¹Am 2,0. На территории вокруг объекта “Укрытие” средние объемные активности могли достигать 10 - 100 мБк/м³ и более на удалении порядка 40 м от объекта “Укрытие”. В 250 м от объекта “Укрытие”, на строительной площадке, объемные активности достигали 3 - 10 мБк/м³ при обычных метеоусловиях и без техногенной деятельности. На промплощадке распределение активности ¹³⁷Cs по размерам частиц отличалось от распределения в выбросах за счет заметного увеличения микронных и субмикронных частиц аэрозоля.

ХАРАКТЕРИСТИКА АЕРОЗОЛЮ НЕОРГАНІЗОВАНИХ ВИКИДІВ ОБ’ЄКТА “УКРИТТЯ”

Є. К. Гаргер, В. О. Кашпур, А. Д. Сажениук, Г. Г. Скоряк, А. Д. Гора, О. О. Курочкин

Радіоактивний аерозоль є одним з основних факторів радіаційного впливу на персонал, який працює на будівельному майданчику та в локальній зоні об’єкта “Укриття”. Оцінки радіоактивних викидів з неорганізованих нещільностей площею біля 200 м², об’ємної активності та розподілу її за розмірами частинок проведено для найбільших нещільностей та на території навколо об’єкта “Укриття”. Відбір повітря проведено за допомогою фільтровентиляційних установок та імпакторів з 1996 по 2003 р. Середній вклад ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu у викидах становив 78,8, 21,16 та 0,4 % відповідно. Загальна потужність викиду була 8,64 · 10⁹ Бк/рік або 0,234 Ки/рік. Амплітуда мінливості концентрацій викидів ¹³⁷Cs та ²⁴¹Am у повітрі сягала двох порядків величини, ⁹⁰Sr - 25 разів, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu - 15 разів. Середній зважений за кількістю експериментів АМАД за даними 1996 - 2003 рр. становив для ¹³⁷Cs 2,6 мкм, для ⁹⁰Sr 2,8, для ²³⁹⁺²⁴⁰Pu 4,4 та для ²⁴¹Am 2,0. На території навкруг об’єкта “Укриття” середні об’ємні активності могли досягати 10 - 100 мБк/м³ та більше на віддалі 40 м від об’єкта “Укриття”. На віддалі 250 м від “Укриття”, на будівельному майданчику, об’ємні активності досягали 3 - 10 мБк/м³ при звичайних метеоумовах та без техногенної діяльності. На проммайданчику розподіл активності ¹³⁷Cs за розмірам частинок відрізнявся від розподілу у викидах за рахунок помітного збільшення мікронних та субмікронних частинок аерозолю.

DESCRIPTION OF AEROSOL OF UNORGANIZED RELEASES FROM OBJECT SHELTER

E. K. Garger, V. A. Kashpur, A. D. Sazhenyuk, G. G. Skoryak, A. D. Gora, A. A. Kurochkin

Radioactive aerosol is one of the general sources of the potential radiological danger from 4-th block of Ch.NPP by the air way and one of major factors of radioactive influence on the personnel working on the industrial site and the local zone of the object Shelter. Selection of air was conducted by different samplers and impactors beginning with 1996 till 2003. Measurements of the radioactive particles release from the unorganized largest apertures with the total area 200 m² were carried out in 1996 – 2000. Estimations of the mean contribution of ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr and ²³⁹⁺²⁴⁰Pu in the release was made up 78.80%, 21.16% and 0.4% accordingly. The total flow rate of these nuclides was equal 274.1 Bq s⁻¹ or 8.64·10⁹ Bq·y⁻¹ (0.234 Ci y⁻¹) from unorganized observed apertures. The estimation of the changeableness of the volume activity released from apertures was shown that the amplitude of the variations of concentrations ¹³⁷Cs and ²⁴¹Am is reached two order of magnitude, for ⁹⁰Sr 25 times, and for ²³⁹⁺²⁴⁰Pu 15 times..The mean median diameters of all released data (1996 – 2002) weighed by number measurements are equal: for ¹³⁷Cs -2.6 μm, for ⁹⁰Sr – 2.8

μm , for $^{239+240}\text{Pu}$ – 4.4 μm , for ^{241}Am – 2.0 μm . At the territory around Shelter mean volume activities of ^{137}Cs may reach 10 – 100 mBq m^{-3} and more at the removal of order 40 m from Shelter. At the building site (250 m from Shelter) volume activities of ^{137}Cs were reached of 3 – 10 mBq m^{-3} for usual the meteorology conditions and without the technogenic activities. At the industrial site of Shelter the ^{137}Cs activity distribution of size particles is differed from the activity distribution in releases at the expense of increasing micrometer and submicrometer aerodynamic aerosol.