

КОНЦЕНТРАЦИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО РАЗМЕРАМ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В НЕКОТОРЫХ ПОДРЕАКТОРНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»

В. П. Бадовский, Э. М. Кожухов, Т. А. Кравчук, А. Э. Меленевский

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Рассмотрен принцип действия и устройство созданного прибора – анализатора субмикронных и микронных аэрозолей, позволяющего за время около 15 ч от начала пробоотбора получить информацию о парциальном вкладе и дисперсности бимодальной смеси радиоактивных аэрозолей техногенного происхождения (РАТП) субмикронных и микронных размеров в представительной пробе воздуха. В пробоотборном устройстве использована комбинация методов виртуальной импакции (ВИ) и «пакета фильтров», позволившая устранить основные недостатки каждого из них в отдельности, а использование в измерительном устройстве набора спаренных альфа- и бета-детекторов – обеспечить экспрессность получения результата измерений. Проведенные испытания прибора в помещениях 207/5(4) и 318/2 объекта «Укрытие» позволили охарактеризовать находившуюся в них во время измерений воздушную среду с РАТП, как одномодальную с медианными аэродинамическим диаметром (АД) микронного диапазона, и бимодальную с медианными АД субмикронного и микронного размеров соответственно.

Введение

Известно, что оценка ингаляционной компоненты эффективной дозы внутреннего облучения осуществляется расчетным путем на основании соответствующих радиологических моделей [1]. В модели используются такие экспериментально найденные параметры, как величина поступления радионуклида через органы дыхания, определяемая объемной активностью РАТП в воздухе рабочей зоны; медианный активностный АД и референтный тип системного отложения вдыхаемых аэрозолей. Наиболее распространены ситуации, в которых последним двум параметрам условно приписывают некоторые значения из набора стандартных. Расчет дозы в таком случае требует только знания величины объемной радиоактивности вдыхаемого воздуха, которую легко находят, например, путем радиометрии проаспирированных в условиях рабочей зоны осадительных фильтров [2]. При необходимости сравнительно просто, с использованием метода аспирации через три специально подобранные последовательно расположенные слоя фильтрующего материала, решается и задача расчета дозы в случае неопределенности в дисперсных характеристиках вдыхаемых аэрозолей [3]. Единственным условием обоснованности использования этого метода является требование одномодальности распределения по АД ингалируемого аэрозоля.

Однако полученные в последнее время данные о дисперсном составе радиоактивных аэрозолей воздушной среды объекта «Укрытие» [4] и результаты модельных опытов, продемонстрировавшие существование процесса интенсивного мелкодисперсного пылеобразования с поверхности топливосодержащих материалов объекта «Укрытие» [5], приводят к заключению о необходимости раздельного учета в данных условиях вклада в формируемую дозу ингаляционного облучения от радиоактивных аэрозолей с медианными АД как микронного, так и субмикронного размеров.

Отметим, что сама по себе информация о дисперсном составе аэрозольной системы и ее модальности является существенной не только в дозиметрии ингаляционного облучения, но и для понимания механизмов генерации аэрозолей и их источников. Последующее рассмотрение в настоящей работе посвящено только последнему вопросу.

Для измерения дисперсного состава аэрозолей шире всего используются инерционные каскадные импакторы [6]. Обычно они содержат несколько каскадов (ступеней), на подложки каждого из которых, в процессе аспирации воздуха, осаждаются аэрозоли соответст-

вующего интервала АД. Частицы самых больших размеров (массы) оседают на первой ступени, более мелкие – на последующих ступенях, а самые малые - на выходном фильтре. После завершения аспирации, оценивая количества аэрозолей, осевших на каждую из подложек и выходной фильтр (или величину радиоактивности каждого из них), находят соответствующие характеристики распределения аэрозолей по АД в проанализированном воздухе.

Важнейшими факторами, искажающими истинное распределение аэрозолей по АД при импакторной оценке, являются: неопределенность в доле частиц, отскакивающих от подложек, оседание части крупных частиц на входные стенки и отличие от идеальных закономерностей осаждения частиц различного АД на подложки.

В настоящей статье описан созданный в ИПБ АЭС НАН Украины прибор для экспрессной оценки концентрации и дисперсного состава РАТП. В пробоотборном устройстве его использован принцип ВИ [7], позволяющий устранить первый из отмеченных недостатков обычных импакторов. Представлены результаты выполненных с помощью прибора измерений концентрации и дисперсного состава аэрозолей в некоторых подреакторных помещениях объекта «Укрытие».

Оборудование и методика измерений

Конструктивно прибор - анализатор субмикронных и микронных аэрозолей (АСиМА) (рис. 1) – состоит из двух устройств: пробоотборного (передний план рис. 1) и измерительного. Способ действия АСиМА и устройство его реализующее защищены Декларационными патентами Украины [8, 9].

На рис. 2 представлен принцип работы пробоотборного устройства. Оно представляет собой 251 – сопельный двухкаскадный ВИ.



Рис. 1 Анализатор субмикронных и микронных аэрозолей «АСиМА».

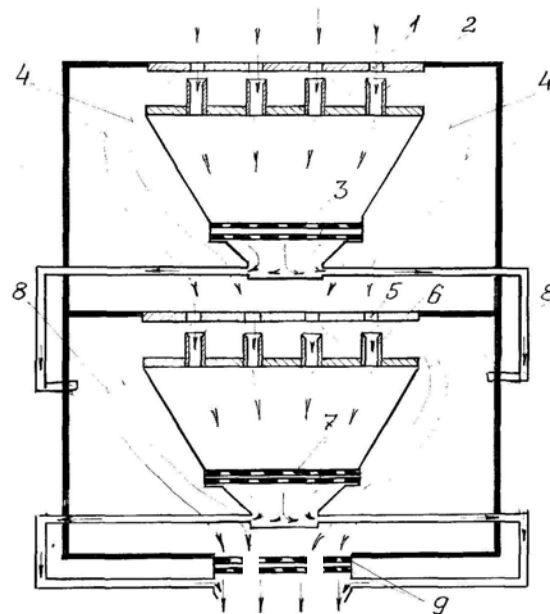


Рис. 2 Принцип работы пробоотборного устройства

Поток воздуха, подлежащего анализу, всасывается через набор круглых сопел 1 первого каскада ВИ. В его воздухоотводные каналы 2, вместе с частью выходного потока, с определенной эффективностью, отводятся аэрозоли с АД в районе выбранного значения границы отбора микронного диапазона Γ_m , более крупные и часть более мелких аэрозолей (присутствие последних обусловлено принципом работы ВИ и является одним из его недостатков). Значение Γ_m при диаметре сопла D_m , согласно работе [6], задается подбором скорости воздуха V на выходе из сопла в соответствии с уравнением

$$\Gamma_{.m} = 0,455 \cdot \sqrt{9\mu D / cV}, \quad (1)$$

где μ – коэффициент вязкости воздуха (при температуре 20 °С он равен 0,000183 Пу); c – поправка Канингейма.

На выходе из каналов 2 установлен трехслойный фильтр 3 из ткани Петрянова типа ФПП-70-0,5, на который из воздуха, проходящего со скоростью 2 м/с, оседают находящиеся в нем аэрозоли.

Основная часть воздушного потока 4, вышедшего из сопел 1 первого каскада, отклоняется от своего первоначального направления движения и всасывается через набор сопел 5 второго каскада ВИ. По аналогии с первым каскадом в воздухоотводные каналы 6 второго каскада вместе с частью выходящего из сопел 5 потока отводятся с определенной эффективностью аэрозоли с АД в районе выбранного значения Γ_c , выше его, и отмечавшаяся уже часть более мелких частиц. Значение Γ_c при выбранном диаметре сопла 5 задается аналогично $\Gamma_{.m}$. На выходе из каналов 6 установлен аналогичный 3 трехслойный фильтр 7, на который оседают аэрозоли из потока, проходящего со скоростью 2 м/с.

Основная часть воздушного потока 8, вышедшего из сопел 5 второго каскада, отклоняется от своего первоначального направления движения и со скоростью 2 м/с проходит через набор из трех параллельно установленных трехслойных оконечных фильтров 9. На слою этого составного фильтра с определенной, зависящей от размера частиц и свойств фильтрующей ткани эффективностью, оседают имеющиеся в нем аэрозоли.

Пробоотборное устройство состоит из трех герметично соединяемых цилиндрических корпусов из нержавеющей стали, содержащих 1-й, 2-й каскады ВИ и набор оконечных фильтров. В сборе они устанавливаются в кожух, образуя единый укрепленный на корпусе аспирации узел пробоотборного устройства. Для просасывания воздуха через сопла ВИ использованы вентиляторные турбины с приводами от трех коллекторных электродвигателей мощностью по 1,5 кВт со стабилизаторами числа оборотов. Регулируемый удельный расход воздуха через ВИ составляет 2,6 – 3,0 м³/мин.

Измерительное устройство прибора (см. задний план рис. 1) предназначено для измерения радиоактивности слоёв фильтров, последовательно устанавливаемых в пяти постах измерения, сбора, хранения и обработки результатов измерения, поступающих в режиме реального времени. Каждый измерительный пост состоит из двух сцинтилляционных блоков детектирования (альфа- и бета-частиц), установленных соосно в фоновозащищенные кожухи. Детекторами альфа-частиц служат штатные датчики радиометров КРА-1 со сцинтилляторами на основе поликристаллического ZnS, а бета-частиц – доработанные блоки БДЖБ-06П со сцинтилляторами на основе объёмно активированного полистирола с рабочим диаметром 100 мм и толщиной 2,5 мм. Последнее позволило проводить амплитудный анализ импульсов от регистрируемых бета-частиц, выделяя вклад от распада ⁹⁰Y(⁹⁰Sr). В промежутки между сцинтилляторами устанавливаются кассеты с одним из слоёв подлежащих измерению фильтров. Сформированные сигналы с детекторов и схем альфа-бета-квазисовпадений с разрешающим временем 1,6 мкс (несущих информацию о числе зарегистрированных каждым из постов альфа- и бета-частиц связанных с распадом дочерних продуктов ²²⁰Rn ряда), поступают на многоканальное регистрирующее устройство. Выделение вкладов в регистрируемые отсчеты альфа- и бета-каналов от частиц связанных с распадом дочерних продуктов ²²⁰Rn ряда происходит путем линейризации методом наименьших квадратов постоянной для конкретной аспирации величины – отношения их вкладов в отсчеты альфа- и бета-каналов к зарегистрированному за это же время числу отсчетов альфа-бета-квазисовпадений. Присутствие в воздушной среде объекта «Укрытие» больших концентраций короткоживущих дочерних продуктов распада радионуклидов ²²²Rn ряда позволяет использовать указанный подход не ранее чем через 5 ч после завершения аспирации. Таким образом, после суммирования для всех слоёв фильтров результатов измерения активности извлекается раздельная информация об общей альфа- и бета-активности осевших на них в одной аспирации РАТП и активности аэрозолей с дочерними продуктами ²²⁰Rn ряда.

Согласно данным работы [10], медианный АД для находящихся в воздухе аэрозолей с дочерними продуктами ^{220}Rn ряда составляет примерно 0,3 мкм, а дисперсия их распределения – около 2. Поэтому более 95 % радиоактивности набора таких аэрозольных частиц имеют АД менее выбранной в приборе границы Γ_c . В таких условиях соотношение найденных активностей дочерних продуктов ^{220}Rn ряда, осевших на наборе фильтров данной аспирации, соответствует имевшему место в этой же аспирации соотношению воздушных потоков через них. Из-за особенностей в принципе работы ВИ в таком же соотношении находятся и отмечавшиеся выше дополнительные активности осевших на фильтры 1-го и 2-го каскадов его РАТП с АД субмикронного диапазона. Поэтому возможность получения в настоящем приборе информации о соотношении измеряемых чисел квазисовпадений на наборе фильтров его из одной аспирации, позволяет оценить величины вкладов в измеряемые активности РАТП с большими АД, от указанной части РАТП с малыми АД.

После проведения указанной коррекции найденные значения радиоактивностей, осевших на фильтрах 3, 7, 9 (см. рис. 2) соответственно a_1, a_2, a_3 и составляющая a_{31} (активность первого слоя a_3) – оказываются связанными с характеристиками осевших на фильтры РАТП из проаспирированного воздуха (в предположении, что эти РАТП являются бимодальной смесью аэрозолей с медианными АД микронного и субмикронного размеров или одной из одномодальных составляющих) системой уравнений

$$a_1 = a_M \int_{\Gamma_M}^{\infty} f(d_{0M}, \sigma_M, d') \cdot dd' + a_C \int_{\Gamma_M}^{\infty} f(d_{0C}, \sigma_C, d') \cdot dd' \quad (2)$$

$$a_2 = a_M \int_{\Gamma_C}^{\Gamma_M} f(d_{0M}, \sigma_M, d') \cdot dd' + a_C \int_{\Gamma_C}^{\Gamma_M} f(d_{0C}, \sigma_C, d') \cdot dd' \quad (3)$$

$$a_3 = a_M \int_0^{\Gamma_C} f(d_{0M}, \sigma_M, d') \cdot dd' + a_C \int_0^{\Gamma_C} f(d_{0C}, \sigma_C, d') \cdot dd' \quad (4)$$

$$a_{31} = a_M \int_0^{\Gamma_C} \varepsilon(d') \cdot f(d_{0M}, \sigma_M, d') \cdot dd' + a_C \int_0^{\Gamma_C} \varepsilon(d) \cdot f(d_{0C}, \sigma_C, d') \cdot dd' \quad (5)$$

$$a_1 + a_2 + a_3 = a_M + a_C \quad (6)$$

где d_{0M}, d_{0C} – искомые медианные АД для логнормальных распределений двух составляющих групп РАТП микронного и субмикронного размеров; $f(d_{0M}, \sigma_M, d'), f(d_{0C}, \sigma_C, d')$ – функции зависимости плотности логнормальных распределений аэрозолей от их АД (d') при искомым медианных АД (d_{0M}, d_{0C}) и значениях дисперсий σ_M, σ_C заданных, в соответствии с [1]; $\varepsilon(d')$ – рассматриваемая ниже функция зависимости эффективности оседания аэрозолей на используемый фильтрующий материал от их АД (формула 7); a_M, a_C , – искомые составляющие удельной объемной активности групп РАТП микронного и субмикронного размеров в смеси, связанные с найденными по результатам измерений удельными объемными активностями a_1, a_2, a_3 соотношением (6).

Таким образом, в результате решения системы уравнений (2) – (6), на основании четырех экспериментально найденных величин, определяются четыре искомые величины a_M, a_C, d_{0M}, d_{0C} . В рамках достигнутой точности измерений и вычислений они с наименьшей ошибкой характеризуют анализируемую воздушную среду, содержащую РАТП, как бимодальную смесь (со значениями дисперсий, принятыми в соответствии с [1]).

Используя найденные величины, расчет ожидаемой (полувековой) эффективной дозы внутреннего облучения можно произвести с помощью базовых данных МКРЗ [11, 12]. Время, необходимое для получения конечного результата измерений, с учетом времени на аспирацию воздушной пробы объемом 100 м^3 , составляет около 15 ч. Попутно в процессе измерений получают сведения о концентрации дочерних продуктов ^{220}Rn ряда в анализируемой пробе.

Использованная в вычислениях зависимость эффективности оседания аэрозолей с различным АД на единичный слой ткани ФПП-70-0,5, представлена на рис 3.

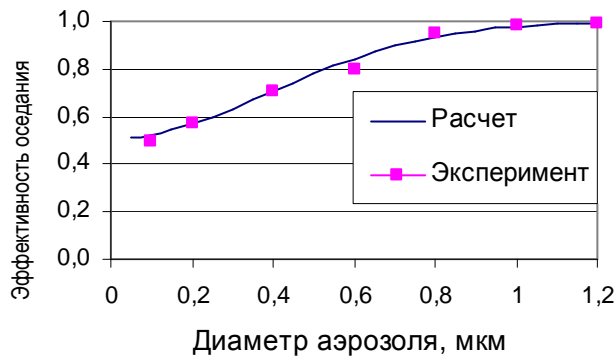


Рис. 3. Зависимость эффективности оседания аэрозолей от АД для материала ФПП-70-0,5.

Измерения выполнены с помощью генератора монодисперсных масляных аэрозолей [13] в интервале размеров 0,1 – 1,2 мкм. Объем анализируемой пробы 50 м³. Для измерения массы аэрозолей, осевших в слое ткани, использовался специализированный прибор – лабораторный анализатор содержания масел типа АР-2. Из-за существенного влияния накапливающегося в ткани фильтра масла на рост ее сопротивления воздушному потоку (скорость воздушного потока 2 м/с) измерения проводились при низкой концентрации аэрозолей в воздухе.

Аппроксимирующая результаты измерений зависимость имеет вид

$$\varepsilon(d) = 1 - e^{-(0,7+0,1d+3d^2V)}, \quad (7)$$

Она используется в расчетах, начиная с минимального учитываемого АД аэрозолей 0,05 мкм. (Согласно [5], минимальный АД генерируемых с поверхности топливосодержащих материалов объекта «Укрытие» мелкодисперсных частиц не бывает менее 0,05 мкм). Применимость аппроксимирующей функции была проверена путем продува через набор из пяти слоев указанной ткани аэрозолей размером 0,1 мкм. При этом доля аэрозоля, прошедшего три слоя фильтрующей ткани и осевшего на двух последних, оказалась менее 6 % от общей осевшей массы, что соответствует расчетам по формуле (7). По расчетам она не превысит 16 % в случае прохождения самых мелких из учитываемых аэрозолей с АД равным 0,05 мкм. Поэтому во всех фильтрах прибора использовано три слоя ткани ФПП-70-0,5.

На рис. 4 представлена исследованная зависимость эффективности осаждения аэрозолей на фильтры 3 первого каскада пробоотборного устройства (см. рис. 2), как функции от АД аэрозолей, при различной величине отводимой через воздухоотводные каналы 2 доли выходного потока.

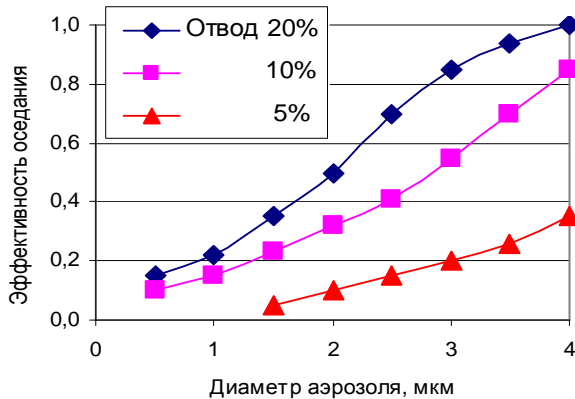


Рис. 4. Зависимость эффективности оседания аэрозолей различного АД от доли потока воздуха, отводимого на фильтр.

В исследовании использовались указанный выше генератор и измеритель содержания масла. Объем аспирируемой пробы воздуха составлял 50 м³. Выходной поток аэрозолей из генератора разбавлялся чистым воздухом и всасывался непосредственно в сопла ВИ. Долю отводимого к фильтрам потока воздуха варьировали в интервале 5 – 20 % (при неизменном общем расходе воздуха через каскад). Как видно из рис. 4, с увеличением отводимого потока, эффективность осаждения все резче зависит от АД аэрозолей (особенно в области малых долей отведения). Значение АД, отвечающее их 50 %-ному осаждению, смещается в область меньших размеров. Наблюдающееся для самых мелких из

исследованных аэрозолей отступление от указанной тенденции, вероятно, связано с проявляющимся при таких размерах нарушением условий импакции [14].

В реализованном приборе в воздухоотводные каналы обоих каскадов ВИ отводится по 20 % выходящего из сопел потока воздуха.

На работающем приборе выполнены оценки относительного распределения массы осевших на набор фильтров монодисперсных масляных аэрозолей после покачивания через

него порций воздуха объемом по 50 м^3 содержащего низкие концентрации аэрозолей следующего ряда размеров (АД): 0,4; 0,5; 0,6; 1,2; 2,0 и 4,0 мкм. Оказалось, что для аэрозолей с АД существенно выше Γ_m (4,0 мкм) наблюдалось оседание достоверно регистрируемой массы их только на фильтре 3 (рис. 2). При уменьшении АД до 2,0 мкм масса аэрозолей на фильтре 3 мало отличалась от их массы на фильтре 7, а при АД = 1,2 мкм эти массы стали соотноситься приблизительно как 1 : 4. При АД = 0,6 мкм массы аэрозолей на фильтрах 3, 7 и 9 соотносились как 2 : 5 : 3, переходя в соотношение 1 : 1 : 3 для АД = 0,5 (0,4) мкм. Таким образом, можно считать, что АД отвечающим 50%-ному оседанию аэрозолей (D_{50M}) в 1 м каскаде ВИ прибора есть величина в районе $(2,0 \pm 0,2)$ мкм, а D_{50C} , во 2-м каскаде составляет $(0,6 \pm 0,1)$ мкм. Эти значения оказались достаточно близкими к расчетным величинам $\Gamma_m = 1,8$ мкм и $\Gamma_c = 0,5$ мкм. Следует отметить отсутствие заметного оседания аэрозолей с АД = 4,0 мкм на фильтрах как 2-го каскада, так и выходном, а аэрозолей с АД = 1,2 мкм на выходном. Это подтверждает одно из известных достоинств ВИ – отсутствие заметного проскока более крупных аэрозолей мимо соответствующих им отводящих каналов [7].

Указанные границы отбора аэрозолей установлены в интервалах АД, отвечающих максимальным градиентам в расчетных зависимостях величин дозовых коэффициентов ингаляционного облучения от активностного медианного АД аэрозолей. (Речь идет об основных в условиях объекта «Укрытие» дозоформирующих радионуклидах – трансурановых элементах альфа излучателях из состава аэрозолей с референтным S типом отложения [4]).

Результаты измерений и их обсуждение

Испытания опытного образца пробоотборного устройства прибора АСiМА на объекте «Укрытие» проводились в осенне-зимний период 2004 – 2005 гг в помещениях 207/4,

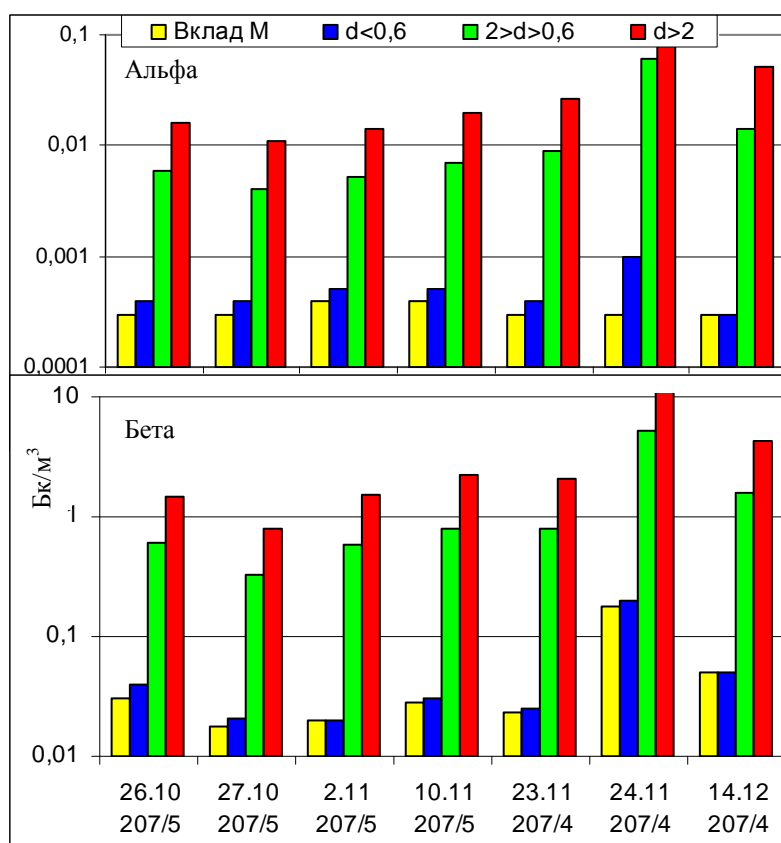


Рис. 5. Результаты измерения распределения по размерам альфа и бета активных аэрозолей в помещениях 207/4 (5).

207/5 и 318/2. Проаспирированные на протяжении 35 мин (объем пробы 100 м^3) фильтры перевозились в г. Чернобыль, где в лабораторных условиях анализировались с помощью измерительного устройства АСiМА. На рис. 5 представлены результаты проведенных в помещениях 207/5 и 207/4 измерений объемной концентрации (Q) альфа- и бета-активных аэрозолей для трех интервалов АД (соответственно меньше 0,6 мкм; равных и больше 0,6 мкм, но меньших 2,0 мкм; равных и больше 2,0 мкм). Крайний левый столбец каждой из гистограмм представляет рассчитанное значение вклада от активности гипотетической группы аэрозолей с АД менее 0,6 мкм, которая совместно с измеренными значениями активностей для остальных групп

аэрозолей одной аспирации, составит одномодальное логнормальное распределение с медианным значением АД микронных размеров и величиной дисперсии, приписанной в соответствии с [1]. Утверждение о соответствии измеренного распределения условию одномодально-

аэрозолей одной аспирации, составит одномодальное логнормальное распределение с медиан-

сти будет тем однозначнее, чем меньшим окажется различие между расчетной и измеренной величиной активности аэрозолей с АД меньше 0,6 мкм.

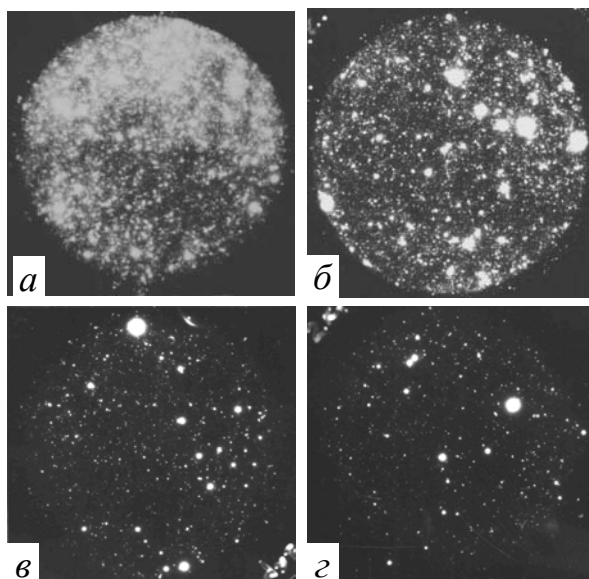
Исходя из результатов, полученных для помещения 207/5, можно констатировать, что на протяжении времени наблюдений характер распределения аэрозолей как по величине, так и по дисперсности мало изменился. В табл. 1 (первая строка) представлены результаты расчета параметров распределения для одного из измерений в этом помещении.

В случае помещения 207/4 наблюдения были приурочены ко времени выполнения технологической операции разгерметизации расположенной рядом с местом пробоотбора скважины «З.10.Г», проходящей в подреакторное помещение 304/3. Как и следовало ожидать, распределение аэрозолей по размерам, полученное перед разгерметизацией скважины (23 ноября 2004 г.) мало отличалось от наблюдавшегося в отделенном негерметичной перегородкой помещении 207/5. Объемная активность аэрозолей в этом же месте, но на следующий день после разгерметизации оказалась существенно выше (было превышено ДКА

Таблица 1. Результаты расчета параметров логнормальных распределений по размерам аэрозолей в помещениях 207/4 (5), 318/2

Дата	Помещение	Альфа					Бета				
		Q Бк/м ³	$\frac{a_m}{a_m+a_c}$	d_{0c} мкм	d_{0m} мкм	СКО %	Q Бк/м ³	$\frac{a_m}{a_m+a_c}$	d_{0c} мкм	d_{0m} мкм	СКО %
10.11.04	207/5	0,03	1,0	-	3,5	14	3,03	1,0	-	3,5	16
24.11.04	207/4	0,22	1,0	-	4,0	13	16,5	1,0	-	3,0	9
14.12.04	207/4	0,07	1,0	-	4,0	12	5,97	0,9	0,15	3,5	12
3.11.04	318/2в	0,019	0,9	0,25	3,5	18	1,57	0,8	0,2	3,5	15
9.11.04	318/2в	0,013	0,8	0,15	4,0	11	1,12	0,8	0,2	3,0	14
1.12.04	318/2н	0,022	0,8	0,25	5,0	18	1,98	0,8	0,15	3,5	13
15.12.04	318/2в	0,017	0,9	0,15	4,5	17	1,37	0,9	0,15	4,0	18
15.02.05	318/2н	0,042	0,8	0,30	3,0	24	3,33	0,8	0,25	3,0	21
16.02.05	318/2в	0,038	0,7	0,35	3,5	17	3,9	0,8	0,30	4,0	14

для альфа- и бета-активных аэрозолей). На протяжении нескольких часов до этого измерения воздушная среда помещения 204/4 была соединена с подреакторным пространством объекта «Укрытие» через достаточно длинную открытую скважину небольшого диаметра. За столь короткое время не мог произойти заметный воздухообмен между этими помещениями и выявившееся существенное загрязнение воздушной среды помещения 204/4, вероятнее всего, связано с выполнявшимися работами по восстановлению проходимости скважины. В табл. 1



представлены результаты расчета параметров распределения для данного измерения.

На рис. 6 представлена фотография авторадииограммы, сформированной бета-излучающими радионуклидами РАТП, инкорпорированными в материал набора фильтров данной аспирации (авторадииографирование выполнено В. Б. Рыбалкой по методике, описанной в работе [15], время экспозиции 28 сут). Проведено фотометрирование снимков и сравнение соотноше-

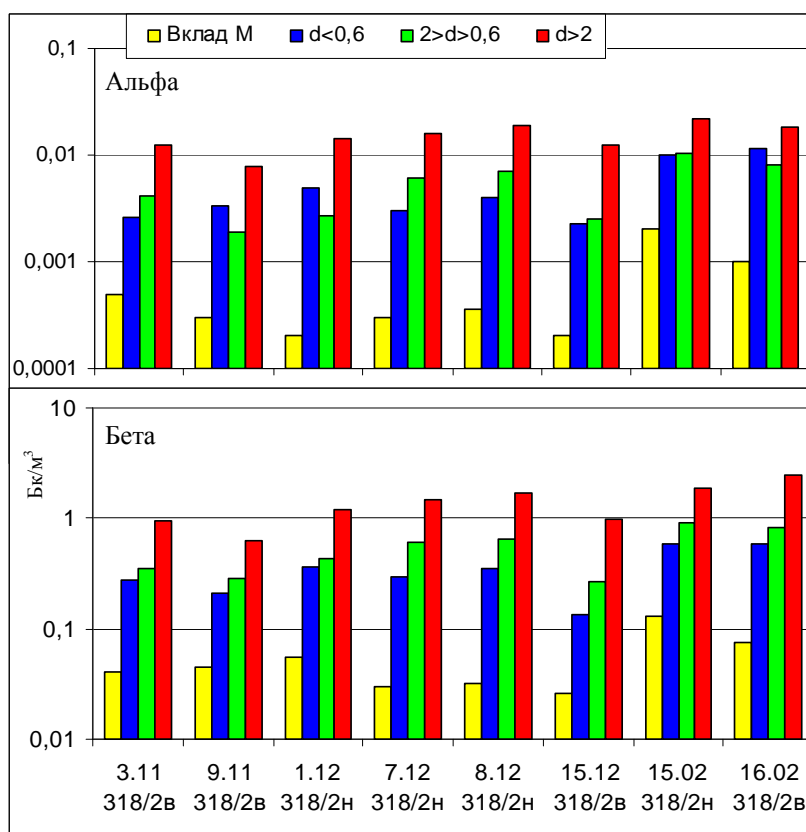
Рис. 6 Фотографии бета-авторадииограмм с фильтров АСима, асперированных 24 ноября 2004 г.: а, б – фильтры 1-го и 2-го каскадов ВИ; в, г – два из трех конечных фильтров.

ния степеней засветки снимков конечных фильтров с засветкой снимков с авторадииограмм фильтров, собиравших аэрозоли с промежуточным и большим значениями АД. Выявлен де-

фицит суммарной интенсивности засветки в трех фотографиях авторадиограмм от фильтров, содержащих аэрозоли с АД менее 0,6 мкм (в сравнении с соотношением аппаратно измеренных бета-активностей соответствующих фильтров). Это, вероятно, можно связать с тем фактом, что среди бета-излучателей, инкорпорированных в материал фильтров с мелкими РАТП, есть часть «малоактивных излучателей», неспособных испустить за выбранное время экспозиции в направлениях отдельных чувствительных зерен фотопленки достаточного для их активации числа бета-частиц.

В помещении 207/4 был проведен комплекс дезактивационных работ. После его завершения, 4 декабря 2004г. был зафиксирован спад объёмной активности аэрозолей. Существенно, что, как следует из рис. 5, характер распределения аэрозолей по размерам к этому времени изменился мало, оставаясь близким к одномодальному с медианным АД в области микронных размеров.

Несколько отличная ситуация была обнаружена в помещении 318/2 рис. 7 (буква «н» обозначает проведение измерений на высоте 0,5 м от пола, «в» - на высоте 8 м). В большинстве случаев рассчитанные величины вкладов в радиоактивность аэрозолей субмикронной фракции от фракции с медианным АД микронных размеров оказались достоверно меньше измеренных величин. Измерения, проведенные на большей высоте, характеризуются большим проявлением этой тенденции. Рассчитанные параметры некоторых из этих распределений



ак- Рис. 7. Результаты измерения распределения по размерам альфа- и бета-активных аэрозолей в помещении 318/2.

ношение величины их фотометрированной засветки к засветке фильтров с осевшими аэрозолями промежуточных и больших размеров меньше аналогичных отношений для случая, представленного на рис. 6, почти в 6 и в 4 раза соответственно. Хотя, как следует из рис. 5 и 7, величины бета-активностей участков, отвечающих промежуточным и большим размерам АД, для этих измерений, имели противоположную тенденцию в активности. Выявленную особенность можно объяснить, если предположить, что при измерении 16 февраля 2005 г. среди инкорпорированных в фильтры аэрозолей с АД менее 0,6 мкм была большая, чем при измерении 24 ноября 2004 г., доля отмечавшихся «малоактивных излучателей». Вообще если

ний также представлены в табл. 1. Видно, что в большинстве случаев распределения характеризуются бимодальностью с небольшим парциальным вкладом субмикронной компоненты с медианным АД в районе 0,15 – 0,35 мкм.

Проведена атордиография проаспирированных 16 февраля 2005г в помещении 318/2 в фильтров. Последующая сравнительная фотометрия их продемонстрировала отмечавшуюся выше тенденцию выраженную в большей степени.

Фотографии конечных фильтров с осажденными аэрозолями, АД которых менее 0,6 мкм, характеризуются чрезвычайно малым числом следов интенсивной засветки, хотя аппаратно измеренные бета-активности фильтров близки к представленным на рис. 6. Отношение

говорить о частицах с линейными размерами примерно в 0,1 мкм (АД до 0,3 мкм), то в настоящее время общая радиоактивность отдельной из них не превышает 10^{-5} Бк (топливные частицы) и 10^{-6} Бк (частицы из материала ЛТСМ). Естественно, что присутствие в материале конечных фильтров таких (или несколько больших) аэрозольных частиц может только с очень малой вероятностью создать существенные неравномерности в распределении актов регистрации бета-частиц в автордиограмме (и, соответственно, регистрируемые неравномерности засветки их фотографий).

Еще одна особенность конечных фильтров АСима для группы аспираций в помещении 318/2 состоит в том, что усредненное по всем аспирациям отношение активностей осевших на первые слои конечных фильтров к суммарной активности на всех слоях их оказалось равным $0,63 \pm 0,05$. Это достоверно меньше от аналогичного соотношения для предыдущих помещений, составляющего $0,89 \pm 0,12$. Причиной тому может также служить присутствие в помещении 318/2 во фракции аэрозолей менее 0,6 мкм заметного количества достаточно мелких глубоко проникающих аэрозолей.

Вычисленный коэффициент корреляции между измеренными в проаспираторных конечных фильтрах активностями радионуклидов ^{220}Rn ряда и РАТП для помещений 318/2 и 207/5(4) оказался разным (0,79 и 0,38 соответственно). Это свидетельствует, о том что в случае помещения 318/2 указанные 2 группы аэрозолей подчинены некоторой общей причине возмущений, в отличие от помещений 207/5 (4), в которых ее не видно явно.

Наконец, в каждом из измерений, для всех групп АД аэрозолей были вычислены отношения одновременно измеренных концентраций бета- и альфа-активных аэрозолей, их средние значения и вариации по помещениям (табл. 2). Можно отметить следующие закономерности: минимальное значение и наименьшую вариацию имеют усредненные отношения для групп аэрозолей с АД менее 0,6 мкм в помещении 318/2, а максимальные значения и разброс – отношения для всех групп аэрозолей в помещениях 207.

Таблица 2. Усредненные по помещениям отношения измеренных парциальных объемных бета- и альфа-активностей

Группа мкм	Помещение			
	207/4 (5)		318/2	
	Среднее	СКО, %	Среднее	СКО, %
АД < 0,6	97	34	56	19
0,6 < АД < 2,0	86	24	77	23
АД > 2,0	88	21	69	21

Наблюдающаяся в случае самых мелких аэрозолей завышенная бета-активность конечных фильтров связана с завышенным содержанием в них радионуклидов ^{137}Cs (в сравнении с фильтрами для других групп аэрозолей тех же аспираций).

Заключение

Проведенные с помощью созданного прибора АСима в зимний период 2004 – 2005 гг. измерения концентрации и дисперсного состава аэрозолей в подреакторных помещениях 207/5(4) и 318/2 объекта «Укрытие» позволили зарегистрировать однократное превышение ДКА из-за монтажных работ в скважене. Дисперсный состав РАТП в помещениях 207/5(4) характеризовался одномодальностью распределения по размерам с медианными АД микронного диапазона и однократно выявленным присутствием в субмикронной фракции «малоактивных аэрозолей». РАТП в помещении 318/2 чаще всего характеризуются бимодальностью распределения с субмикронной и микронной компонентами и большей концентрацией малоактивных аэрозолей в субмикронной фракции. Присутствие в осаждаемой на конечные фильтры фракции большего, чем в случае помещений 207, количества мелких РАТП подтверждается выявившимся повышенным проникновением их в глубокие слои конечных фильтров, а измеренные соотношения бета- и альфа-активностей могут свидетельствовать о вероятном топливном происхождении их. В поведении осаждающейся на конечные фильтры прибора фракции РАТП помещения 318/2 выявилась высокая степень корреляции с поведением находящихся здесь же аэрозолей ^{220}Rn ряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *International Commission on Radiological Protection. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. - ICRP Publication 66 (Oxford: Pergamon Press) // Ann. ICRP 24 (1 – 3), 1994.*
2. *Бадыйн В.И., Маргулис У.Я., Хрущ В.Т. Методы отбора проб радиоактивных аэрозолей и газов // Дозиметрический и радиометрический контроль при работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений. Методическое руководство / Под общей ред. В.И. Гришмановского. – М.: Атомиздат, 1980. – 208 С.*
3. *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. Ин-т проблем безопасности АЭС; 04-8).*
4. *Бондаренко О.А., Арясов П.Б., Мельничук Д.В. и др. Субмикронные аэрозоли объекта «Укрытие» // Проблемы Чернобиля. – 2002. – Вып. 10, ч. 2. – С. 140 – 153.*
5. *Varyakhtar V., Gonchar V., Zhidkov A., Zhidkov V. Radiation damages and self-sputtering of high-radioactive dielectrics, spontaneous emission of submicronic dust particles // Condensed Matter Physics. - 2002. - Vol. 5, No. 3(31). - P. 449 – 471.*
6. *Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию. – М.: Мир, 1987. - 278 с.*
7. *Yule T.I. An on-line monitor for alpha-emitting aerosols // IEEE Transactions on nuclear science. - 1978. - Vol. NS – 25, No. 1 - P. 762 – 766.*
8. *Деклараційний пат. 63441 А Україна, МКИ 7 G01T7/04 Спосіб експресної оцінки радіоактивних аерозолів / О. О. Ключников, О. Е. Меленевський, В. П. Бадовський та ін. – Опубл. 15.01.2004.*
9. *Деклараційний пат. 64309 А Україна, МКИ 7 G01T7/04 Пристрій для експресної оцінки радіоактивних аерозолів / О. О. Ключников, О. Е. Меленевський, В. П. Бадовський та ін. – Опубл. 16.02.2004.*
10. *Огородников Б.И. Свойства, поведение и мониторинг радона и торона в воздухе //Атомная техника за рубежом. – 2001, № 5. – С. 14 – 26.*
11. *Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения. Сер. изд. по безопасности № 115. – Вена: МАГАТЭ, 1997. – 382 С.*
12. *Сухоручкин А.К. Расчет дозового коэффициента аэрозоля произвольной дисперсности // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. - 2005. – Вып. 3, ч. 1. – С. 98 – 101.*
13. *Бадовский В.П., Гольшикин В.И., Кожухов Э.М. и др. Генератор монодисперсных аэрозолей // Проблемы Чернобиля. – 2004. - Вып. 14 – С. 43 – 47.*
14. *Русанов А.А., Янковский С.С. Импакторы для определения дисперсности промышленных пылей. - М.: ЦНИИТЭ, 1970. – 50 с.*
15. *Рыбалка В.Б., Смирнов Г.Ф., Петелин Г.И. и др. Микробный фактор, топливосодержащие материалы и образование субмикронных частиц в объекте «Укрытие» // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. 2005 – Вып. 3, ч. 1. - С. 87 – 97.*

Поступила в редакцию 16.03.06