

**ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ,
МЕДИЦИНЫ, БИОЛОГИИ**

УДК 53.082.36

**ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ С ДИФFUЗИОННОЙ БАТАРЕИ
ЭКРАННОГО ТИПА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ
УЛАВЛИВАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

© 2013 г. М. А. Рогозина, М. В. Жуковский, А. А. Екидин

Институт промышленной экологии УрО РАН

Россия, 620990, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 20

Поступила в редакцию 20.11.2012 г.

После доработки 14.03.2013 г.

Описана разработанная в Институте промышленной экологии УрО РАН диффузионная батарея экранного типа с последовательным расположением улавливающих элементов — экранов из металлических тканых сеток. Прибор предназначен для оценки дисперсного состава среды по содержанию в ней короткоживущих дочерних продуктов радона. Приведены результаты моделирования и интерпретации данных реального эксперимента, в котором получено распределение из трех мод медианными диаметрами в интервалах 1–2, 3–4 и 19–20 нм.

DOI: 10.7868/S0032816213060104

ВВЕДЕНИЕ

Радон и дочерние продукты его распада (д.п.р.) повсеместно присутствуют в атмосфере. Измерение радиоактивности короткоживущих д.п.р. радона позволит изучить распределение по размеру аэрозольных частиц, к которым они присоединены. Для этой цели могут быть использованы, например, диффузионные батареи.

В диффузионной батарее аэрозольные частицы улавливаются на фильтрующих элементах. Оседание частиц оценивается с помощью анализаторов различного типа — конденсационных или оптических счетчиков, радиометров и пр. Часто оценивается состояние атмосферы после фильтрующих каскадов. Недостатком такого подхода является необходимость использования либо нескольких анализаторов одновременно, либо последовательных измерений одним анализатором, что довольно сложно выполнить в нелабораторных условиях и обуславливает высокие требования к стабильности атмосферы. Примером может служить часто используемая модель MOUDI 3040/3041 фирмы TSI, в которой воздух последовательно пропускается через каждый из 11 портов с последующей оценкой концентрации частиц.

Нами была разработана диффузионная батарея, работа с которой не требует высокой стабильности атмосферы, и она позволяет быстро получить данные о распределении размеров аэрозольных частиц в месте отбора пробы. Особенностью этой батареи является дифференциальный подход, при котором радиоактивность каждого фильтрующего элемента измеряется α -радиометром, а полученные данные представляют собой

свертку функции распределения аэрозольных частиц по размерам и функции отклика прибора.

ОСНОВЫ МЕТОДА

Аэрозольные частицы при броуновском движении оседают на улавливающих элементах батареи, в качестве которых обычно используются экраны из металлической тканой сетки с известными характеристиками. Геометрия и материал улавливающих элементов определяют размеры оседающих на них аэрозольных частиц. Каждый последовательный элемент диффузионной батареи характеризуется диаметром 50%-ного отсекания, d_{50} .

Диапазон измерений прибора определяется значениями d_{50} для первого экрана и для всей сборки экранов. Варьируя характеристики каскадов батареи, комбинируя экраны из разных сеток и изменяя другие параметры, влияющие на фильтрацию, можно изменять рабочий диапазон устройства в соответствии с предполагаемыми особенностями изучаемой атмосферы.

Оседание аэрозольных частиц на каскадах диффузионной батареи описывается функцией отклика, рассчитываемой по теории фильтрации [1] с учетом характеристик улавливающих элементов. Количество аэрозолей с присоединенными д.п.р. радона, осевших на улавливающий элемент батареи, пропорционально активности д.п.р. радона.

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА

На рис. 1 представлена схема прибора. Батарея состоит из алюминиевых блоков, в каждом из ко-

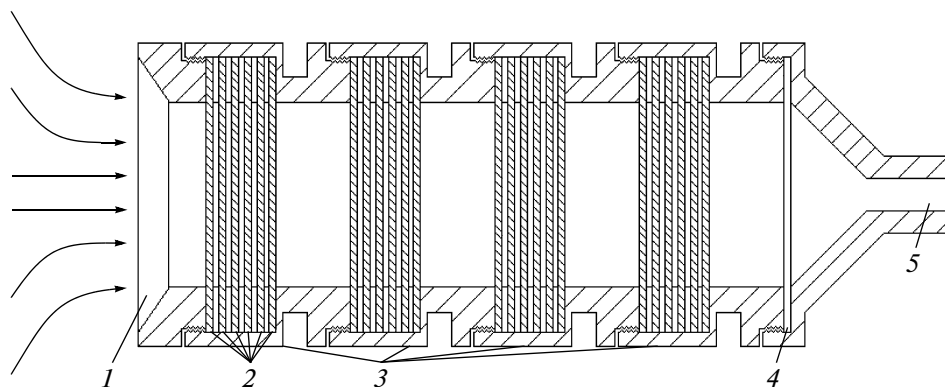


Рис. 1. Схема диффузионной батареи. 1 – входное отверстие, 2 – улавливающие элементы, 3 – каскады диффузионной батареи, 4 – финишный фильтр, 5 – выходное отверстие.

торых расположены экраны, разделенные резиновыми кольцами для обеспечения ламинарности потока между элементами. Обычно это четыре блока с пятью экранами в каждом. Отбирающие элементы изготовлены из латунных сеток с толщиной проволоки 65 мкм и шириной раскрытия ячейки 100 мкм. Рассчитанные значения d_{50} находятся в диапазоне от 1.7 до 16.5 нм. В соответствии с теорией фильтрации рассчитана функция отклика, представляющая собой квадратную матрицу 20×20 .

С помощью радиометра РАМОН-01М определяется активность д.п.р. радона на фильтрующих элементах и рассчитывается объемная активность д.п.р. радона на момент окончания отбора с учетом времени до начала измерений [2].

Для интерпретации данных из известных методов инверсии измерений [3–8] был выбран метод максимизации ожидания. При восстановлении распределения интервал размеров выбирается исходя из рабочего диапазона прибора, который разбивается на зоны так, чтобы их число совпадало с числом экранов. В каждой зоне подбирается значение искомой функции распределения аэрозольных частиц по размерам итеративным путем с учетом отклика прибора.

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

В модельном эксперименте по тестированию метода предполагалось бимодальное логнормальное распределение с медианными диаметрами 2 и 10 нм и относительным среднеквадратичным отклонением каждой моды 1.25. Ожидаемая активность д.п.р. радона рассчитывалась с применением полученной матрицы функции отклика. Результаты восстановления модельного распределения представлены на рис. 2. Расхождение исходного и восстановленного распределений составило в соответствии с хи-критерием $<5\%$.

Проведены измерения в естественных условиях в атмосфере помещений с высокой объемной активностью ^{220}Rn ($0.3\text{--}10.2$ кБк/м³) на предприятии “Уралмонацит” [9]. Осаждение аэрозолей на экранах диффузионной батареи проводилось в течение 30 мин, затем измерялась α -активность экранов батареи и рассчитывалась объемная активность д.п.р. ^{220}Rn , присоединенных к аэрозольным частицам.

По результатам измерений в условиях реальной атмосферы было получено распределение (рис. 3), которое соответствует физическим предположениям о спектре размеров частиц в естественных условиях [10, 11]. Выделяются три моды частиц с медианными диаметрами в интервалах 1–2, 3–4 и 19–20 нм. Первая мода представляет собой “свободную фракцию”, т.е. атомы д.п.р. ^{220}Rn , образовавшие молекулярные кластеры с нерadioактивными атомами среды. Вторая мода – частицы, образованные посредством коагуляции частиц “свободной фракции” между собой или с другими кластерами. Третья мода – частицы пер-

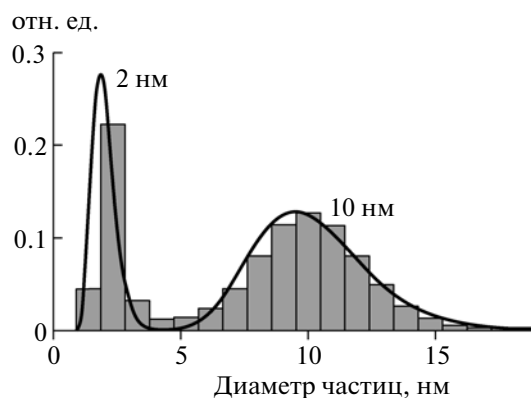


Рис. 2. Восстановление модельного распределения с медианными диаметрами 2 и 10 нм и относительным среднеквадратичным отклонением 1.25.

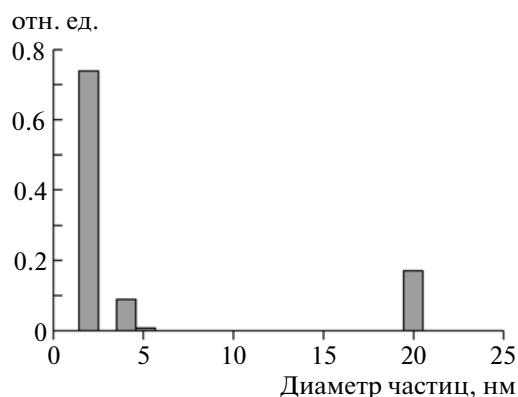


Рис. 3. Восстановление размерного распределения аэрозолей в атмосфере с высокой активностью д.п.р. ^{220}Rn .

вой или второй моды, присоединившиеся к мелким аэрозольным частицам среды.

Диффузионная батарея с последовательным расположением отбирающих элементов и использовании дифференциального подхода к получению данных обладает рядом преимуществ перед другими конструкциями. Во-первых, устройство требует применения только одного механизма для отбора пробы. Во-вторых, данные получают с каждого из отбирающих элементов, что уменьшает статистическую ошибку по сравнению с оценкой состава атмосферы после стопок (или набора) экранов при интегральном подходе. В-третьих,

прибор имеет простую, легкую для воспроизведения конструкцию, позволяющую путем изменения геометрических характеристик экранов и скорости расхода воздуха изменять рабочий диапазон.

Выражаем благодарность И.В. Ярмошенко за помощь в подготовке статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cheng Y.S., Keating J.A., Kanapilly G.M. // J. Aerosol Science. 1980. V. 11. P. 549.
2. Жуковский М.В., Ярмошенко И.В. Радон: измерение, дозы, оценка риска. Екатеринбург: Институт промышленной экологии УрО РАН, 1997.
3. Fuchs N.A., Stechkina I.B., Starosselskii V.I. // J. Appl. Phys. 1962. V. 13. P. 280.
4. Zagaynov V.A. // J. Aerosol Sci. 1996. V. 27. Suppl. 1. P. S343.
5. Raabe O.G. // Environmental Science & Technology. 1978. V. 12. № 10. P. 1162.
6. Raputa V.F., Jakovenko G.T., Koutsenogil K.P. // J. Aerosol Sci. 1997. V. 28. Suppl. 1. P. S259.
7. Soderholm S.C. // J. Aerosol Sci. 1979. V. 10. Issue 2. P. 163.
8. Maher E.F., Laird N.M. // J. Aerosol Sci. 1985. V. 16. Issue 6. P. 557.
9. Екидин А.А., Павлюк А.В., Жуковский М.В. и др. // Технадзор. 2010. № 1 (38). С. 42.
10. Porstendorfer J. // Radiation Protection Dosimetry. 2001. V. 94. № 4. P. 365.
11. United States Environmental Protection Agency. Air quality criteria for particulate matter. 2004. V. I.