ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ, 2019, том 83, № 4, с. 495–499

УДК 543.522,504.3.054

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА

© 2019 г. С. В. Зуев[1, *], А. А. Афонин[1], Ю. М. Бурмистров[1], И. А. Капустин[2], Е. С. Конобеевский[1], М. В. Мордовской[1, 3], Е. В. Плетников[4], В. Н. Пономарев[1], Г. В. Солодухов[1]

[1]*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия*

[2]*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "МИРЭА – Российский технологический университет", Москва, Россия*

[3]*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва, Россия*

[4]*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)", Москва, Россия*

**E-mail: zuyev@inr.ru*

Поступила в редакцию 01.10.2018 г.
После доработки 15.10.2018 г.
Принята к публикации 19.11.2018 г.

Для выбора аналитических фильтрующих материалов пробоотбора атмосферных аэрозолей и осадков, пригодных для нейтронно-активационного анализа, рассматривались образцы различных волокнистых фильтрующих материалов: фильтры из кварцевого волокна, марля отбеленная, аналитический фильтрующий материал ЛФС-2, фильтры Петрянова двух видов и промышленный фильтр из холстопрошивного полотна. Образцы фильтров облучались нейтронами фотонейтронного источника ИН-ЛУЭ ИЯИ РАН на базе линейного ускорителя электронов. Измерения γ-активности образцов проводились с использованием низкофонового гамма-спектрометра. Анализ активационных гамма-спектров, соответствующих образцам различных фильтрующих материалов, указывает на систематическое наличие в них в качестве основных примесей Mn, Na и Cl (в различных комбинациях). Наиболее пригодным материалом для нейтронно-активационного анализа является фильтр из кварцевого волокна. Сделаны оценки содержания микропримесей в исследуемых материалах.

DOI: 10.1134/S0367676519040318

ВВЕДЕНИЕ

В статье [1] описывалась процедура изучения состава радиоактивных и нерадиоактивных элементов в пробах атмосферных аэрозолей и наземных выпадений из атмосферы. Пробы отбирались на специальные волокнистые фильтрующие материалы с последующим анализом осевших на них выпадений и аэрозолей. Было показано, что все рассмотренные фильтрующие материалы пригодны для определения содержания радиоактивных элементов в пробах. Однако в процессе нейтронно-активационного анализа (НАА) нерадиоактивных элементов в "чистых" образцах сравнения отмечены заметные следы Cl, K, Na и Mn. В данной работе проводится анализ расширенного набора различных фильтрующих материалов и рассматривается их пригодность для изучения содержания в них нерадиоактивных элементов методом НАА.

ВАРИАНТЫ ИССЛЕДУЕМЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящей работе в качестве фильтрующих материалов исследовались различные образцы, параметры и свойства которых приведены ниже.

Марля отбеленная – прозрачная, легкая, гигроскопичная ткань полотняного переплетения. Плотность ~26–52 г · м$^{-2}$. Хлопок 100%. Отбеливается без применения хлора. Считается, что марля не содержит химических приме-

сей, может подвергаться стерилизации (см., например, [2]).

Аналитический фильтрующий материал ЛФС-2. Материал предназначен для отбора проб аэрозолей с последующим измерением концентраций альфа-радиоактивных элементов и изотопов методами спектрометрии альфа-излучения уловленного осадка. Материал композиционный и состоит из двух слоев. Функциональный фильтрующий слой, представляющий собой полиамидные волокна диаметром 100–150 нм, совмещен с микроволокнистой нетканой подложкой из полипропиленовых волокон диаметром 5–7 мкм [3].

Фильтрующие материалы типа ФП (фильтры Петрянова) [4] предназначены для очистки воздуха и других газов от тонкодисперсных аэрозолей при концентрации твердой фазы до 0.5 мг · $м^{-3}$. Материал ФПП-15-1,5 представляет собой слой перхлорвиниловых волокон со средним диаметром 1.5 мкм, нанесенных на марлевую подложку. Сопротивление потоку воздуха при скорости потока 1 см · $с^{-1}$ составляет ~15 Па. Материал ФПП-15-1,5 обладает высоким электрическим зарядом, улучшающим фильтрующие свойства материала. В материале РФМ-1.2ПС используют волокна из полистирола, которые обладают стабильным электрическим зарядом, химической стойкостью к концентрированным кислотам и щелочам, растворяется в хлорированных углеводородах. Исследовались два вида материала ФП: ФПП-15-1,5 – стандартный материал (ТУ 2568-411-05795731-2008) производства АО “Сорбент” [5] (ФПП) и РФМ-1,2ПС – микроволокнистый рулонный фильтрующий материал – (РФМ) (см., например, [6]).

Кварцевые фильтры – фильтры из кварцевых микроволокон (SiO_2) высокой чистоты не содержат каких-либо связующих агентов или добавок. Используются для отбора проб воздуха при анализе на кислотные газы, дымовые частицы, примеси топлив и аэрозоли, особенно при высоких температурах. Характеризуются низким содержанием щелочно-земельных металлов (см., например, [7]).

В качестве примера материала, используемого в промышленных фильтрах, рассматривалось холстопрошивное фильтровальное полотно (ХПП) (арт. С-5 931535). Холстопрошивное полотно – это толстый нетканый массив волокон, скрепленный через небольшие промежутки швами. Изготавливается из первичных и вторичных хлопковых отходов. Имеет высокую площадь поверхности, благодаря своей рыхлой структуре, гигроскопичен. Характеризуется объемностью, мягкостью и отсутствием ворса, хорошо впитывает влагу, пыль, быстро сохнет и легко отжимается, обладает высокой прочностью и стопроцентной экологической чистотой. Нетканые полотна применяются для производства фильтрующих материалов: для очистки воздуха, газов, аэрозолей, технических жидкостей, масла в гидравлических системах; кроме того, нетканые материалы используются в системах кондиционирования и вентиляции (см., например, [8]).

НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

НАА фильтрующих материалов проводился с использованием активационно-измерительного комплекса ИЯИ РАН, включающего фотонейтронный W–Be-источник ИН-ЛУЭ [9] на базе линейного ускорителя электронов ЛУЭ-8-5 и низкофоновый гамма-спектрометр [10].

Фильтры активировались потоком тепловых нейтронов ~10^7 нейтрон · $см^{-2}$ · $с^{-1}$ в течение ~2 ч. Время измерения активационных γ-спектров ~20 ч. НАА фильтров проводился для “чистых” образцов, не участвовавших в пробоотборе, которые являются образцами сравнения. Набор активационных спектров осуществлялся с помощью программы SpectraLineGP [11] с регулярной записью спектров каждые 100 с на диск управляющего компьютера. Специальной программой-конвертором спектры из полубинарного формата преобразовывались в текстовой формат и затем использовались в программе определения периода полураспада нуклидов по заданному пику. Идентификация пиков в спектрах осуществлялась с помощью программы, содержащей базу данных по нуклидам, активируемым при облучении нейтронами в реакциях (n, γ), (n, n'γ) и (n, p) [1]. По заданным пикам в спектре программа находила с заданной точностью соответствующие им варианты линий нуклидов с указанием периода полураспада и интенсивности. По полученным при обработке спектров данным по периоду полураспада происходила окончательная идентификация пиков.

РЕЗУЛЬТАТЫ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА

Проведен НАА исследуемых материалов. На рис. 1 представлены активационные спектры исследуемых материалов для короткоживущих изотопов. Времена облучения ~2 часов, выдержки ~4 мин, измерения ~30 мин. На рис. 2 также представлены активационные спектры исследуемых материалов для долгоживущих изотопов. Времена облучения ~2 ч, выдержки ~1–2 ч, измерения ~15–30 ч. Общим результатом анализа спектров является присутствие в них заметных следов марганца (Mn-56) , натрия (Na-24) и хлора

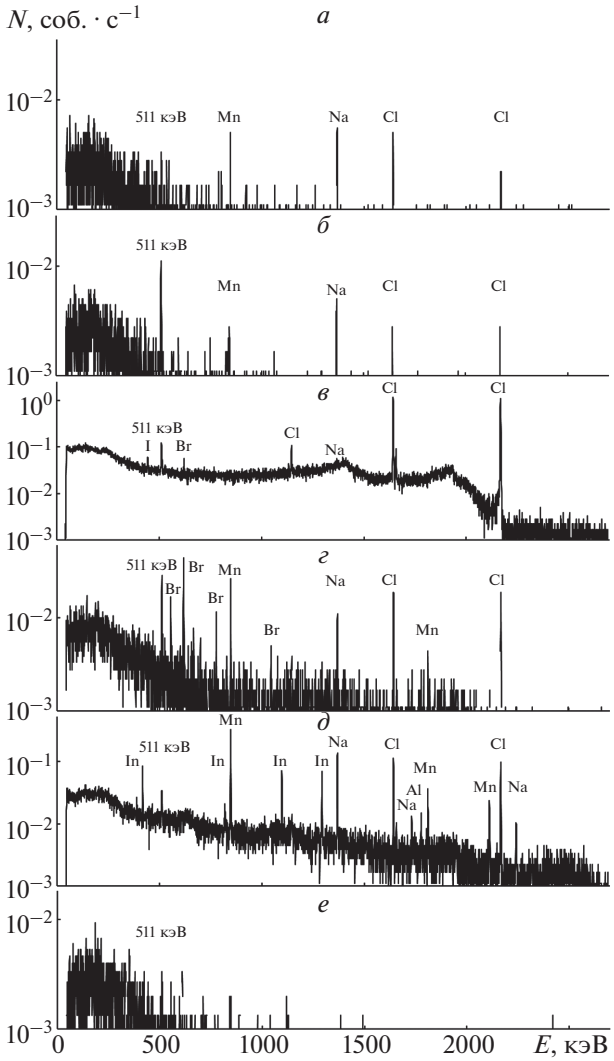

Рис. 1. Активационные спектры исследуемых материалов для короткоживущих изотопов: *а* – марля, *б* – ЛФС-2, *в* – ФПП, *г* – РФМ, *д* – ХПП, *е* – кварц.

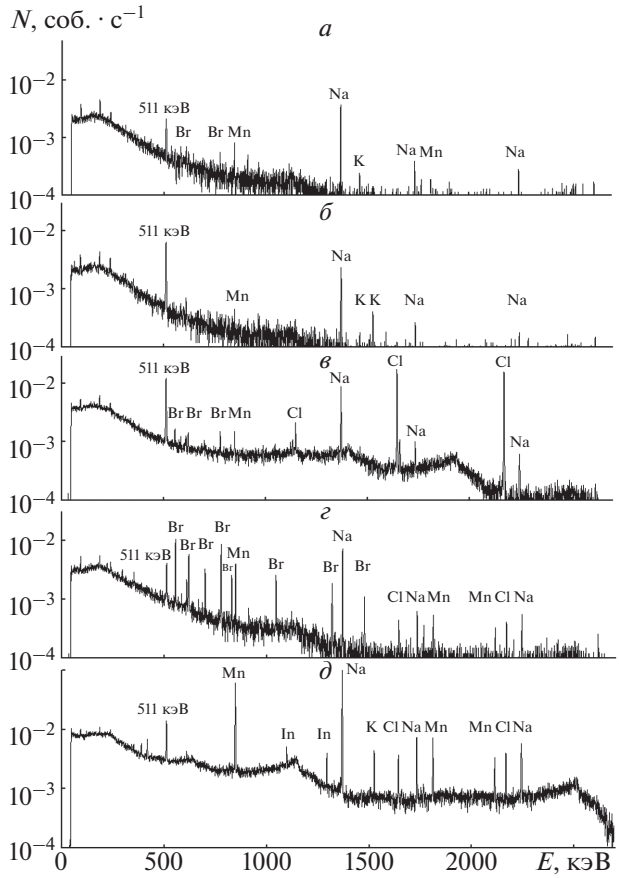

Рис. 2. Активационные спектры исследуемых материалов для долгоживущих изотопов: *а* – марля, *б* – ЛФС-2, *в* – ФПП, *г* – РФМ, *д* – ХПП.

(Cl-38). На спектрах с долгоживущими изотопами присутствуют также следы калия (K-40 и K-42). Для фильтров Петрянова наблюдается присутствие следов йода (I-128) и брома (Br-80 и Br-82). В промышленном фильтре ХПП присутствуют следы калия (K-42), алюминия (Al-28) и индия (In-116m). Для кварцевого фильтра характерно отсутствие следов примесных элементов.

На рис. 3 показано содержание основных примесных элементов в исследуемых материалах. На гистограмме Mn отмечен светло-серым цветом, Na – темно-серым, а Cl – белым цветом. На рис. 4 показано содержание примесей в образцах относительно их содержания в ЛФС-2. Содержания примесей в ЛФС-2 выбраны за 1 из-за их минимальных значений.

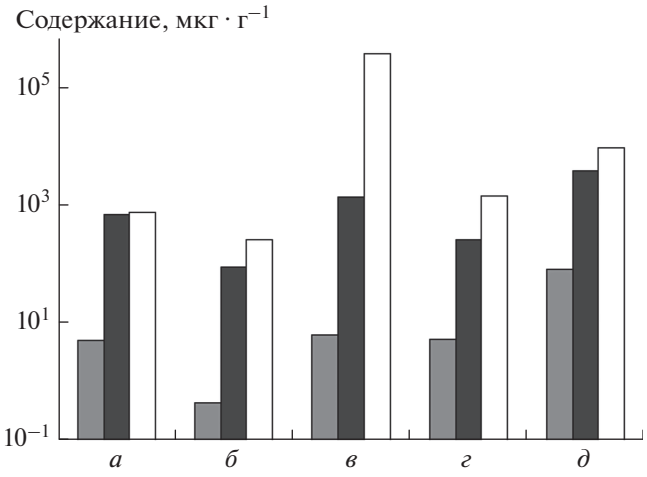

Рис. 3. Содержание основных примесных элементов: Mn – светло-серый цвет, Na – темно-серый цвет, Cl – белый цвет. По оси абсцисс указаны материалы: *а* – марля, *б* – ЛФС-2, *в* – ФПП, *г* – РФМ, *д* – ХПП.

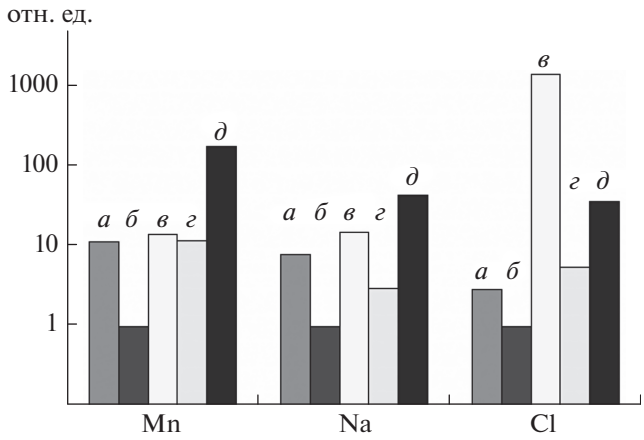

Рис. 4. Содержание основных примесных элементов в материалах относительно ЛСФ-2. Здесь *а* – марля, *б* – ЛФС-2, *в* – ФПП, *г* – РФМ, *д* – ХПП.

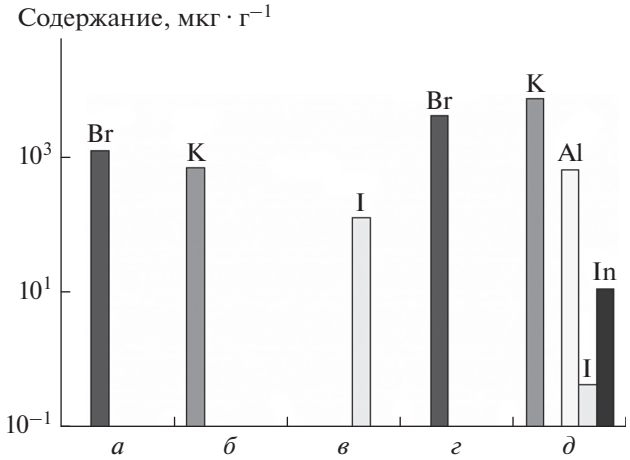

Рис. 5. Содержание других примесных элементов в материалах. Обозначения по оси абсцисс – как на рис. 3.

Из рис. 3 и 4 видно, что наименьшим содержанием примесных элементов характеризуется материал ЛСФ-2. При этом содержание марганца в марле и фильтрах Петрянова сравнимо. Это возможно из-за того, что в марлевую основу фильтров Петрянова и марлю отбеленную марганец попадает в процессе производства. Содержание Cl в марле находится в пределах ГОСТ 9412-93 [12]. На рис. 5 показано содержание ряда других примесных элементов в исследуемых материалах. Заметные вклады дают следы калия (K-42), брома (Br-82), йода (I-128), алюминия (Al-27) и индия (In-116m). Наибольшее количество таких примесей содержится в промышленном фильтре ХПП. При этом следует отметить, что фильтры из марли и ЛСФ-2 можно использовать для анализа самих этих элементов с помощью НАА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе [1] отмечено присутствие заметных следов примесных элементов Mn, Na и Cl в “чистых” образцах сравнения ряда фильтрующих материалов. Высказывалось предположение, что они могли быть случайно занесены в процессе хранения и транспортировки, а возможно и измерений. Это требовало дополнительной проверки. Целью данной работы являлся выбор фильтрующих материалов, пригодных для отбора проб атмосферных аэрозолей и наземных выпадений из атмосферы и для анализа в них содержания и состава нерадиоактивных элементов методом НАА. Для этого исследовались различные фильтрующие материалы: марля отбеленная, аналитический фильтрующий материал ЛФС-2, фильтры Петрянова двух видов – ФПП-15-1,5 и РФМ-1,2ПС, промышленный фильтр из холстопрошивного полотна и кварцевый фильтр. НАА этих материалов (кроме кварцевого фильтра) указывает на систематическое присутствие в них в качестве основных примесей следов Mn, Na и Cl, что может быть связано уже с самим процессом производства. Данное исследование сужает круг задач, которые могут решаться с использованием подобных фильтров. Для НАА в этом случае должны использоваться те участки активационных спектров, в которых отсутствуют вклады от этих примесей. Наиболее подходящими являются кварцевые фильтры, но они имеют ограниченные размеры, высокую стоимость и свою область применения. Использование марли и ЛФС-2 позволяет решать задачи поиска следов металлов в атмосферных аэрозолях и наземных выпадениях из атмосферы методом НАА.

В данной работе рассмотрено лишь малое количество из большого разнообразия фильтрующих материалов. Однако полученные результаты указывают на трудности в выборе фильтров, пригодных для НАА. Было бы интересным рассмотреть отдельно фильтры из искусственных волокон и сравнить их с фильтрами на естественной основе. Дальнейшие исследования помогут отобрать либо универсальные фильтрующие материалы, либо материалы с узкой областью применения (специализированные), пригодные для НАА нерадиоактивных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреев А.В., Афонин А.А., Бурмистров Ю.М. и др.* // Изв. РАН Сер. физ. 2018. Т. 82. С. 819; *Andreev A.V., Afonin A.A, Burmistrov Yu.M. et al.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2018. V. 82. P. 736.

2. http://www.tisclean.ru/марля-медицинская-отбеленная-суровая/.
3. http://electrospinning.ru/spetsialnyie-filtruyushhie-materialyi/.
4. *Басманов П.И., Кириченко В.Н., Филатов Ю.Н., Юров Ю.Л.* Высокоэффективная очистка газов от аэрозолей фильтрами Петрянова. М.: Наука, 2002. 193 с.
5. http://www.sorbent.su/production/fpp/.
6. http://neorganika.ru/фильтр-материалы#kharakteristiki.
7. http://www.chmlab.com/en/DownloadArea/CHMLABcatalogueRussian.pdf.
8. https://tkanitex.ru/index.php/polotno-holstoproshivnoe-ot-kompanii-tkaniteks/.
9. *Андреев А.В., Бурмистров Ю.М., Зуев С.В. и др.* // Изв. РАН Сер. физ. 2017. Т. 81. С. 824; *Andreev A.V., Burmistrov Yu.M., Zuyev S.V. et al.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2017. V. 81. P. 748.
10. *Andreev A.V., Burmistrov Yu.M., Zuyev S.V. et al.* // Nucl. Phys. Eng. 2013. V. 4. P. 879.
11. *SpectraLineGP*. http://lsrm.ru/products/detail.php?ELEMENT_CODE=SpectraLineGP.
12. ГОСТ 9412-93: Марля медицинская. Общие технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.