

УДК 621.039

ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗДУШНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ

А.Е. ЛАГУТИН, Ж.П. ЛАГУТИНА

*Белорусский государственный аграрный технический университет
Независимости, 99, Минск, 220093, Беларусь*

*Высший государственный колледж связи
П. Бровка, 14, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 24 апреля 2014

Элементный анализ воздушных аэрозолей, нанесенных на фибергласовые фильтры, был проведен с помощью пучка протонов с энергией 2 МэВ. Одновременно с набором спектров характеристического рентгеновского излучения регистрировались спектры обратно рассеянных протонов, что позволило определить концентрации легких элементов в составе аэрозолей, а кроме того, однозначно идентифицировать тяжелые примеси и вычислить их концентрацию.

Ключевые слова: экологический мониторинг, воздушные аэрозоли, ядерно-физические аналитические методики.

Введение

Нанонаука и нанотехнологии – одни из наиболее бурно развивающихся в настоящее время сфер человеческой деятельности. Продвижение научного познания в глубины нановещества осуществляется столь стремительно, что любая характеристика этого направления всегда будет запаздывать. В настоящее время исследования в области нанотехнологий связаны со множеством смежных наук, областей знаний и отраслей промышленности, т.е. с тем, с чем сталкивается человек в повседневной жизни. Научные исследования в области нанотехнологий позволяют говорить о решении многих экологических проблем (утилизации отходов, очистке воздуха от выхлопных газов и т.д.). При этом следует отметить, что создание лишь отдельных элементов инфраструктуры наноиндустрии, а не инфраструктурного комплекса, направленного на поддержку всех этапов коммерциализации технологий, не позволит решать проблемы в комплексе [1].

В настоящее время можно с уверенностью сказать, что активное развитие нанотехнологий вызовет революцию и в экологии. В ближайшем будущем могут появиться такие новые термины, как «наноэкология», «нанозагрязнение», «нанотоксикология». Экологический мониторинг в будущем ждут большие перемены. Необходимо разрабатывать эффективные методы обнаружения наночастиц в природных средах (воде, воздухе и почве) и методики определения токсичности наноматериалов, нормировать содержание различных наночастиц в окружающей среде [2].

Методика эксперимента

Ядерно-физические аналитические методики, широко используемые для решения различных нанотехнологических задач прикладного характера [3, 4], в частности исследований загрязнения окружающей среды, экологии урбанизированных территорий и т.п., требуют точной идентификации тяжелых микропримесей наряду с определением концентрации элементов в образцах. В таких случаях предпочтительным оказывается совместное

использование методик резерфордовского обратного рассеяния (РОР) и ионноиндуцированного характеристического рентгеновского излучения (ХРИ). При этом методика ХРИ позволяет точно идентифицировать любой из тяжелых элементов по спектру характеристического излучения, а концентрация его может быть вычислена достаточно точно с использованием спектра РОР [5].

Результаты и их обсуждение

Аэрозоли, нанесенные на фиброгласовые фильтры из воздуха, были проанализированы с помощью пучка протонов. Определенный объем воздуха был прокачан через каждый фильтр. Одновременно с набором спектров характеристического рентгеновского излучения регистрировались спектры обратно рассеянных протонов, что позволило определить концентрации легких элементов в составе аэрозолей, а кроме того, однозначно идентифицировать тяжелые примеси и вычислить их концентрацию. Чувствительность методики позволяет обнаружить и идентифицировать микропримеси в образце на уровне вплоть до тысячных долей процента. В составе исследованных образцов обнаружен целый ряд микропримесей: F, Na, Mg, Al, S, Cl, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Sr, Zr, Ba.

Спектры РОР показывают большой выход рассеянных протонов на самых легких элементах C, N, O по двум причинам: прежде всего, потому что концентрация этих элементов высокая, а кроме того, сечение упругого рассеяния даже для угла 135° носит нерезерфордовский характер. Это обстоятельство вносило дополнительные погрешности в определение концентраций элементов, поскольку экспериментально измеренные сечения рассеяния протонов для этого угла отсутствуют и приходилось экстраполировать их значения из измеренных под большими углами.

Вместе с тем спектры РОР (рис. 1) содержат информацию о рассеянии на более тяжелых элементах, для которых оно уже носит резерфордовский характер и рассчитывается довольно точно. Даже небольшой выход рассеянных протонов на достаточно тяжелых элементах (Fe), которые были зарегистрированы также и в спектрах ХРИ (рис. 2), дает возможность рассчитать нормировочные коэффициенты для вычисления концентраций всех элементов, наблюдавшихся с помощью данной методики.

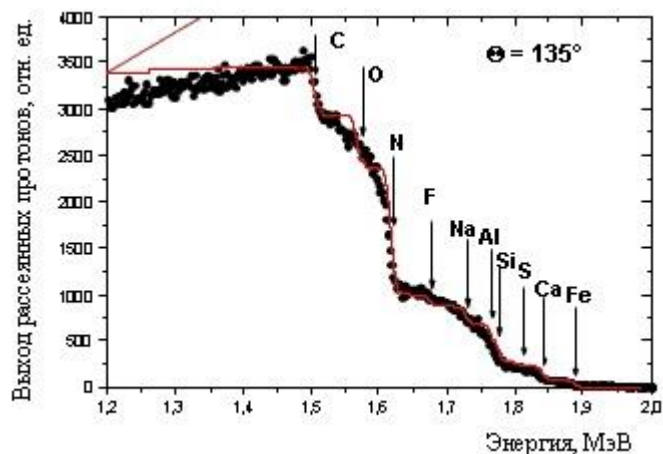


Рис. 1. Спектр протонов для аэрозолей

На рис. 2 хорошо видно, что характеристические линии всех элементов как К-серии, так и L-серии однозначно идентифицируются, а их площади могут быть вычислены с хорошей точностью. Вместе с тем интенсивности характеристических линий для различных элементов отличаются на пять порядков. Это накладывает определенные ограничения на скорость набора спектров. Чтобы уменьшить вероятность наложений импульсов, необходимо поддерживать среднюю скорость набора спектров на довольно низком уровне, а для наблюдения примесных элементов с низкой концентрацией необходимы достаточно длительные экспозиции.

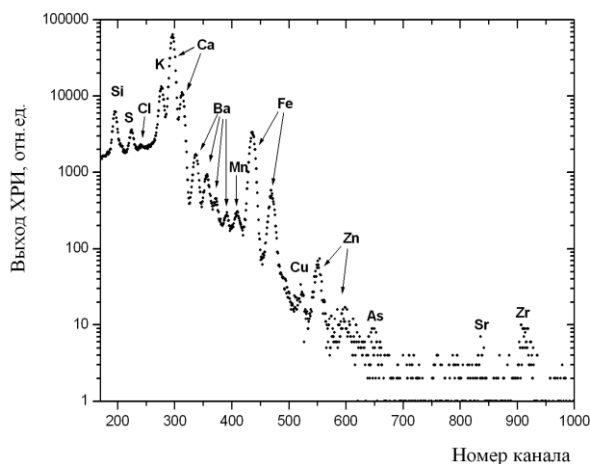


Рис. 2. Спектр ХРИ для аэрозолей

Таким образом, в составе образцов аэрозолей, осажденных на фильтрах, через которые прокачивалось определенное количество воздуха, было обнаружено около 20 основных элементов и микроэлементов, представленных в таблице.

Атомная концентрация элементов в образцах аэрозолей

Элемент	C	N	O	F	Na	Mg	Al	Si	S	Cl
Кон. ат. %	41	20,5	28	2,6	2,5	1,3	1,3	1,8	0,2	0,01
Элемент	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Sr	Zr	Ba
Кон. ат. %	0,1	0,53	0,007	0,14	0,002	0,01	0,001	0,001	0,005	0,01

Расчет концентрации элементов, зарегистрированных методом POP, проводился традиционным путем, который положен в основу различных компьютерных программ. Для обработки же спектров ХРИ использовалась зависимость сечения возбуждения характеристического рентгеновского излучения с учетом эффективности Si(Li)-детектора от энергии излучения, показанную на рис. 3.

Эта зависимость показывает относительную эффективность регистрации характеристического излучения для различных элементов. Абсолютную же нормировку можно выполнить в той области, где некоторые элементы регистрируются как одним, так и другим методом. В данном случае такими элементами были Si и Ca, а иногда Fe и Ba. Как видно, сечения, как для K-серии, так и для L-серии довольно резко уменьшаются с увеличением энергии, что приводит к большой разнице в скорости набора линий, соответствующих разным элементам. Естественно, на эту зависимость накладывалась концентрация примесей в воздухе, в результате, как видно на рис. 2, разброс в скоростях набора спектров достигал 5 порядков.

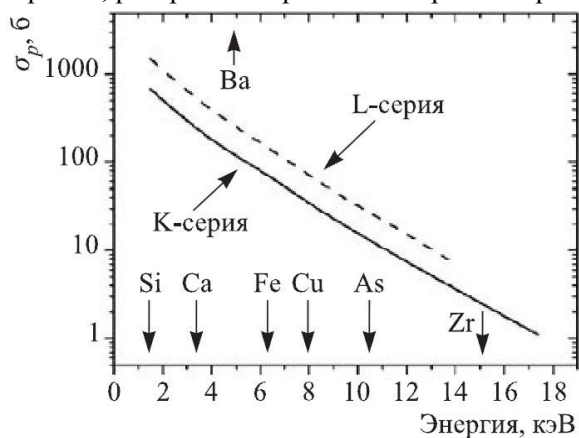


Рис. 3. Сечение возбуждения характеристического излучения для K- и L-серий, индуцированное пучком протонов с энергией 2 МэВ

Заключение

Детальное исследование образцов фильтров с осажденными на них аэрозолями с помощью методик РОР и ХРИ показало, что данные аэрозоли содержат около 20 элементов, концентрация которых изменяется от десятков атомных процентов до одной тысячной доли процента. Основную массу аэрозолей составляют легкие элементы, так что суммарный атомный вес аэрозолей 15–16 атомных единиц. Это повышает чувствительность обеих методик к более тяжелым элементам, что позволяет обнаружить присутствие таких элементов, как Mn, Si, Zn, As, Sr, Zr, с концентрациями в тысячные доли атомных процентов. Точность определения концентрации элементов составляет около 30 % и ее можно еще повысить, если в этом есть необходимость, путем измерения нескольких образцов, приготовленных из одного и того же фильтра.

ELEMENTAL ANALYSIS OF AIR AEROSOLS

A.E. LAGUTIN, J.P. LAGUTINA

Abstract

Layers of aerosols, deposited on a high volume fiberglass filter from air, were analyzed using proton beam. Both the RBS spectrum and PIXE one were stored simultaneously, which allows one to calculate the light element content as well as to identify heavier elements and calculate their concentrations in aerosols.

Список литературы

1. *Фостер Л.* Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. М., 2008.
2. *Супотницкий М. В.* // Нанотехнологии и охрана здоровья. 2013. № 4. С. 22–41.
3. *Lagutin A.* // 7th Int. Workshop on High Resolution Depth Profiling. Singapore, July, 8–11, 2013.
4. *Lagutin A.* // CIOSTA XXXV Conference «From Effective to Intelligent Agriculture and Forestry». Billund, July, 3–5, 2013.
5. *Лагутин А.Е.* Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Минск, 2013.