

УЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ПУЧКА СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ СПЕКТРОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ МЕТОДОМ РФА-СИ

А.В. Сидорина, В.А. Трунова

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева 3, 630090
umbra@ngs.ru*

Поступила в редакцию 26 октября 2012 г.,
после исправления – 25 декабря 2012 г.

Приведены результаты эксперимента по оценке влияния падения тока накопительного кольца на метрологические характеристики рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения при анализе тонких образцов с биологической матрицей. Экспериментально показано, что нормировка площади пика характеристического излучения на площадь пика комптоновского рассеяния может использоваться не только для учета различий в пробоподготовке тонких биообразцов тканей (по геометрии и толщине), но и для учета снижения интенсивности возбуждающего излучения.

Ключевые слова: рентгенофлуоресцентный анализ, синхротронное излучение, биологические стандартные образцы, способ количественной обработки результатов.

Сидорина Анна Владимировна – аспирант Института неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН.

Область научных интересов: аналитическая химия, рентгенофлуоресцентный анализ с использованием синхротронного излучения.

Автор трех опубликованных работ.

Трунова Валентина Александровна – к. х. н., с. н. с. Института неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН.

Область научных интересов: аналитическая химия, рентгенофлуоресцентный анализ с использованием синхротронного излучения.

Автор 120 опубликованных работ.

Введение

Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) нашел широкое применение в количественном определении химических элементов в различных материалах [1-5]. Наряду с быстротой, многоэлементностью и относительной простотой, важной чертой РФА является неdestructивность. Рентгенофлуоресцентный анализ традиционно можно разделить на ряд методов, в соответствии со способом возбуждения образца. В качестве источника возбуждения могут использоваться радиоактивные изотопы, излучение рентгеновской трубки или синхротронное излучение (СИ) [6]. Синхротронное излучение имеет ряд уникальных свойств, которые обусловили его широкое использование в рентгенофлуоресцентном анализе [7-15]. Это излучение простирается непрерывно от инфракрасных до жестких рентгеновских лучей, благодаря чему можно получать моноэнергетический пучок в широком диапазоне энергий и выбирать оптимальную энергию возбуждения для каждого

определяемого элемента. Синхротронное излучение позволяет создавать интенсивный пучок с малым угловым расхождением и линейной поляризацией, что значительно уменьшает фон от рассеяния [6]. Таким образом, при использовании синхротронного излучения в качестве источника возбуждения (РФА-СИ) улучшается чувствительность метода и снижаются пределы обнаружения, а также сокращается количество необходимого для анализа материала и время самого анализа. Наряду с преимуществами СИ в качестве источника возбуждения имеется и ряд сложностей, которые необходимо учитывать при проведении анализа. В частности, существуют короткие по времени флуктуации интенсивности пучка и спектра, которые нелегко зарегистрировать, в том числе и из-за того, что интенсивность пучка по своей природе имеет импульсную структуру. Другая проблема – это стабильность орбиты электронов, которая приводит к вертикальным колебаниям пучка, что может быть очень критично при использовании на пучке коллиматоров и/или рентгеновской

оптики малых размеров [16]. Наиболее существенные погрешности в процессе количественного рентгенофлуоресцентного анализа могут возникать из-за постепенного падения тока пучка электронов, что является особенностью работы накопительных колец. Снижение числа электронов происходит вследствие упругого и неупругого рассеяния на электронах и ядрах остаточного газа и внутриволнового рассеяния (эффект Тушека) [17]. Чем дольше существует накопленный пучок в кольце, тем выше эффективность его использования. Количественной характеристикой потерь накопленного пучка является время жизни пучка $-\tau_{life}$, то есть время, в течение которого накопленное число частиц (Y_0) уменьшается в e раз [17]:

$$Y_e(t) = Y_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau_{life}}\right).$$

Поток фотонов испускаемого синхротронного излучения с энергией E является функцией параметров накопительного кольца и геометрических характеристик:

$$N_0 = N_0(E; W, B, I, \Sigma_y, \Psi, d, a, b),$$

где N_0 – поток фотонов, E – энергия фотонов, W – энергия электронов, B – магнитная индукция, I – ток пучка электронов, Σ_y – вертикальный размер источника, Ψ – вертикальный угол испускания; d – расстояние между источником излучения и апертурной диафрагмой размера $a \times b$ [18]. Поток фотонов характеристического излучения элемента i зависит от потока возбуждающего излучения, попадающего на образец:

$$N_i = N_0 C_i A,$$

где N_i – поток фотонов характеристического излучения, N_0 – поток возбуждающего излучения, C_i – концентрация элемента i , A – коэффициент, учитывающий физические характеристики определяемого элемента i , особенности образца и параметры измерения. Таким образом, интенсивность возбуждающего синхротронного излучения, попадающего на образец, а, следовательно, и интенсивность характеристического излучения определяемых элементов, непосредственно зависит от тока пучка электронов накопительного кольца. При расчете концентрации определяемого элемента используется зависимость между содержанием элемента в облученном объеме образца и измеренной интенсивностью его характеристического излучения.

$$C_i = I_i / R_c, \quad (1)$$

где C_i – это концентрация элемента i , I_i – интенсивность линии характеристического излучения элемента i , R_c – коэффициент чувствительности для элемента i . Коэффициент R_c для каждого элемента может быть рассчитан через интенсивность

характеристического излучения элемента i и его концентрацию в стандартном образце:

$$R_c = I_{i,s} / C_{i,c}, \quad (2)$$

где $I_{i,s}$ и $C_{i,c}$ – интенсивность линии и концентрация элемента i для стандартного образца [19].

Для снижения погрешности при расчете концентраций определяемых элементов измеренную интенсивность характеристического излучения каждого элемента необходимо нормировать на усредненный ток накопительного кольца (за время одного измерения) или на заряд, собранный ионизационной камерой [16, 20–24]. В работе Kobayashi [20] при проведении микро-РФА-СИ для измерения интенсивности возбуждающего излучения авторы создали компактное устройство на основе алюминиевой фольги, принцип действия которого во многом аналогичен действию ионизационной камеры. В одной из работ был предложен способ контроля интенсивности возбуждающего пучка через скорость счета детектора. Была показана линейная зависимость скорости счета детектора от заряда, собранного ионизационной камерой, но не все результаты подчинялись этой зависимости, что может быть связано с флуктуациями в спектре первичного пучка, не зарегистрированными ионизационной камерой [16]. В работе Кудряшовой и др. [25] при исследовании образцов лунного грунта измерение исследуемых и стандартных образцов чередовалось таким образом, что спектры измерялись при малых отклонениях в токе и интенсивности возбуждающего излучения.

При анализе образцов печени площади пиков анализируемых металлов нормировались на площадь пика аргона, который существует только в воздухе в постоянной концентрации и присутствует на всех измеренных спектрах [26]. При анализе стекла использовалась нормировка на площадь пика кальция, который был выбран в качестве внутреннего стандарта. Нормировка на внутренний стандарт позволила снизить погрешности не только из-за вариаций интенсивности пучка СИ, но и вследствие различной толщины исследуемых образцов [27]. Для уменьшения влияния вариаций толщины и плотности измеряемых образцов с органической матрицей часто используется нормировка площадей пиков анализируемых элементов на площадь пика комптоновского рассеяния, которое теоретически соотносится с массой образца [19, 22–24, 28, 29]. Ни в одной из рассмотренных работ не было сказано об использовании нормировки на пик комптоновского рассеяния для устранения вариаций интенсивности, вызванных падением тока.

Целью нашей работы является оценка возможности использования нормировки пиков характеристического излучения на площадь пика комптоновского рассеяния как способа устранения возможных погрешностей при расчете концентра-

ций определяемых элементов, обусловленных падением тока в накопительном кольце ВЭПП-3 (на экспериментальной станции элементного рентгенофлуоресцентного анализа ИЯФ, СО РАН).

Методика эксперимента

Накопительное кольцо ВЭПП-3, (ИЯФ, СО РАН) имеет следующие параметры: максимальная энергия электронов $E_e = 2$ ГэВ, магнитное поле вигглера $B = 2$ Т, ток электронов после накопления $I_e = 160$ мА, время между перекоплениями – 6 часов. Характеристики экспериментальной станции рентгенофлуоресцентного элементного анализа на накопительном кольце ВЭПП-3: монохроматор – монокристалл Si (111); толщина бериллиевой пленки – 1 мм; камера для анализа изготовлена из эльконайта; площадь пучка фотонов от 1 до 30 мм²; время экспозиции от 20 до 1000 с; энергия возбуждения варьирует от 12 до 47 кэВ; определяются элементы от К до U. Регистрация флуоресцентного излучения осуществляется при помощи Si (Li) детектора OXFORD (Oxford Instruments Inc., USA) с энергетическим разрешением около 140 эВ на линии 5.9 кэВ. Первичный пучок синхротронного излучения попадает на образец под углом 45° к его поверхности, генерируя характеристическое флуоресцентное излучение, которое регистрируется полупроводниковым детектором, расположенным под углом 90° по отношению к направлению первичного возбуждающего излучения.

Для эксперимента был выбран стандартный образец бычьей печени NCS ZC 85005 Beef Liver, представляющий собой сухой, тонко измельченный порошок. Образец был спрессован в таблетку массой 10 мг, диаметром 8 мм. Таблетка между двумя майларовыми пленками помещалась во фторопластовые кольца для дальнейшего анализа. Анализ проводили при энергии возбуждения 18 кэВ. Длительность одного измерения составляла 500 с. Было проведено две серии измерений. Длительность каждой серии соответствовала времени между двумя последующими накоплениями пучка электронов, то есть в каждой серии происходило постепенное падение тока электронов, вызванное естественными процессами в накопительном кольце. Диапазон изменений тока в одной серии составлял от 120 до 60 мА, а в другой – от 150 до 75 мА. В течение каждой серии измерений образец не вынимался из камеры и постоянно находился в одном и том же положении. Таким образом, исключались случайные погрешности, которые могли возникнуть при перемещении образца, связанные с возможными вариациями в его геометрии или с неоднородностью распределения элементов. В первой серии, с изменением тока от 120 до 60 мА было измерено 43 спектра. Во второй серии, с падением тока от 150 до 75 мА было измерено 37 спектров. Обработку спектров и расчет площадей пиков проводили в программе AXIL, где в качестве

формы пика принята гауссиана. В каждом измеренном спектре рассчитывали площади K α -линий регистрируемых элементов – S, Cl, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Se, Br, Rb и Sr, а также площадь пика комптоновского рассеяния. После этого проводили нормировку площадей пиков линий определяемых элементов на площадь пика комптоновского рассеяния. По каждому измеренному спектру до и после нормировки интенсивностей спектральных линий элементов на пик комптоновского рассеяния рассчитывали концентрации регистрируемых элементов по методу внешнего стандарта – см. уравнения (1) и (2). На данном этапе в задачу входило исследование только той погрешности рассчитанных концентраций, которая возникает из-за снижения величины тока накопительного кольца, поэтому в качестве стандартного образца был принят самый первый образец в каждой серии, измеренный при максимальной величине тока.

Результаты и обсуждение

Для диапазонов падения тока от 120 до 60 мА и от 150 до 75 мА наблюдалась линейная зависимость между площадью пика комптоновского рассеяния и величиной тока накопительного кольца. На рис. 1 показана зависимость площади пика K α -линии железа (количество импульсов) от величины тока накопительного кольца для 43 измерений образца. Видно, что при падении тока от 120 до 60 мА площадь пика K α -линии также уменьшается. Характер изменения нормированной площади пика показан на примере железа для диапазона изменений тока от 120 до 60 мА на рис. 2. При уменьшении тока от 120 до 60 мА нормированная площадь пика K α -линии не уменьшается с падением тока, а небольшие колебания в её величине носят случайный характер. Изменение нормированной площади пиков всех определяемых элементов носит такой же характер, как и для железа. Для оценки случайной погрешности в величине нормированной площади пика каждого элемента было рассчитано относи-

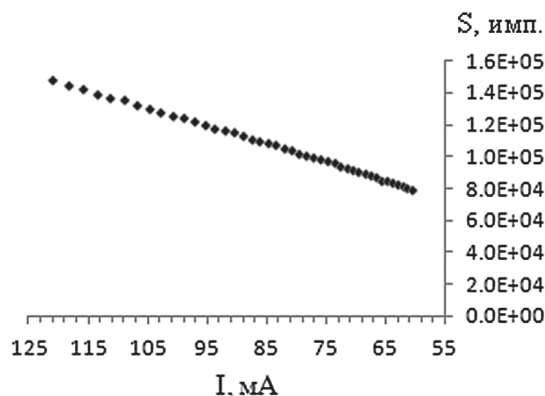


Рис. 1. Площадь пика K α -линии железа при значениях тока от 120 до 60 мА без нормировки на пик комптоновского рассеяния: S – площадь пика, I – величина тока

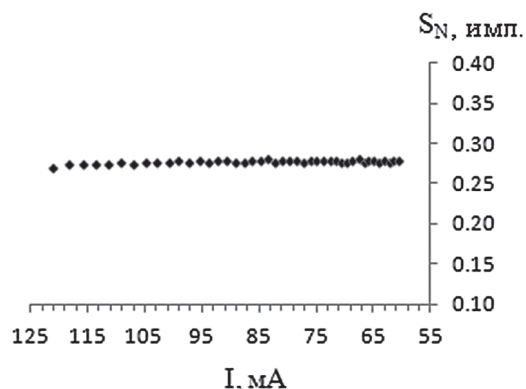


Рис. 2. Площадь пика α -линии железа при значениях тока от 120 до 60 мА после нормировки на площадь пика комптоновского рассеяния: S_N – нормированная площадь пика, I – величина тока

60 мА и от 150 до 75 мА соответственно) и Se, где S_r составило 8 и 9 % для изменения тока от 120 до 60 мА и от 150 до 75 мА соответственно. Высокое относительное стандартное отклонение для этих элементов связано с их низкими концентрациями в образце (табл. 1) и малыми величинами площадей пиков характеристического излучения, что может приводить к большей случайной погрешности во время компьютерной обработки спектров и расчета площади пика. Средние концентрации элементов, рассчитанные с использованием и без использования нормировки на пик комптоновского рассеяния, а также паспортные концентрации данных элементов в образце показаны в табл. 2. При двух режимах измерения концентрации элементов, рассчитанные с использованием нормировки на пик комптоновского рассеяния, достоверно не отличаются от паспортных концентраций элементов в образце, а концентрации, полученные без использования нормировки меньше паспортных (табл. 2). Как уже отмечалось в разделе «Методика эксперимента», при расчете концентраций в качестве стандартного образца использовали

Таблица 1

Относительное стандартное отклонение S_r средней нормированной площади пиков элементов

Режим измерения	Средняя площадь пика	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Se	Br	Rb	Sr
$n = 43$; ток от 120 до 60 мА	N/N_c	0.0109	0.0100	0.2688	0.0116	0.0038	0.2773	0.1073	0.2381	0.0011	0.0135	0.0782	0.0043
	$S_r, \%$	2	3	0.7	3	4	0.7	0.9	0.9	8	2	0.8	4
$n = 37$; ток от 150 до 75 мА	N/N_c	0.0114	0.0105	0.2813	0.0121	0.0041	0.2907	0.1124	0.2499	0.0012	0.0141	0.0819	0.0045
	$S_r, \%$	2	2	1	2	3	1	1	1	9	2	1	3

Примечания: N/N_c – средняя нормированная площадь пиков элементов; n – количество измерений.

Таблица 2

Паспортные и найденные концентрации элементов в образце, рассчитанные с использованием и без использования нормировки на пик комптоновского рассеяния.

Режим измерения	Параметр	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Se	Br	Rb	Sr
Ток от 120 до 60 мА	$C_{certified}$ $\pm SD, \text{мкг/г}$	7520 ± 750	2560 ± 110	10000 ± 800	185 ± 11	9.08 ± 0.93	452 ± 37	96.7 ± 5.4	165 ± 12	0.492 ± 0.016	3.85 ± 0.25	23.6 ± 2.7	1.03 ± 0.12
	C_{norm} $\pm SD, \text{мкг/г}$	7660 ± 160	2650 ± 70	10170 ± 70	190 ± 5	8.91 ± 0.36	460 ± 3	99.1 ± 0.8	170 ± 1	0.545 ± 0.043	4.02 ± 0.06	24.1 ± 0.2	1.01 ± 0.04
Ток от 150 до 75 мА	C_{exp} $\pm SD, \text{мкг/г}$	5400 ± 1000	1860 ± 330	7160 ± 1290	130 ± 24	6.3 ± 1.2	330 ± 58	70 ± 12	120 ± 21	0.39 ± 0.09	2.83 ± 0.52	17 ± 3	0.71 ± 0.14
	C_{norm} $\pm SD, \text{мкг/г}$	7820 ± 160	2600 ± 60	10420 ± 80	193 ± 3	9.77 ± 0.26	469 ± 3	100 ± 1	170 ± 1	0.484 ± 0.042	3.98 ± 0.06	24.8 ± 0.2	1.05 ± 0.03

Примечания: $C_{certified}$ – паспортная концентрация, C_{norm} – концентрация, рассчитанная с использованием нормировки, C_{exp} – концентрация, рассчитанная без использования нормировки, SD – стандартное отклонение.

образец, идентичный по элементному составу исследуемым образцам. Этим объясняется столь низкое стандартное отклонение для концентраций, рассчитанных с использованием нормировки на площадь пика комптоновского рассеяния.

Заключение

Результаты работы показали, что нормировка площадей пиков анализируемых элементов на площадь пика комптоновского рассеяния может быть эффективно использована для устранения погрешностей, вызванных изменениями в интенсивности возбуждающего излучения без дополнительной нормировки на ток ионизационной камеры.

Благодарность

Работа проводилась при использовании оборудования ЦКП СЦСТИ и финансовой поддержке Минобрнауки России на станции элементного анализа в Сибирском центре синхротронного и терагерцового излучения (Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пашкова Г.В. Рентгенофлуоресцентный анализ молока и основанных на нем продуктов // Аналитика и контроль. 2010. Т. 2, № 1. С. 4-15.
2. Смагунова А.Н., Коржова Е.Н., Великова Т.М. Элементный рентгеноспектральный анализ органических материалов // Журн. аналит. химии. 1998. Т. 53, № 7. С. 678-690.
3. Ревенко А.Г. Подготовка проб природных материалов для рентгенофлуоресцентного анализа с дисперсией по энергии (обзор) // Зав. лаб. 1994. Т. 60, № 11. С. 16-29.
4. Pashkova G.V. X-ray fluorescence determination of element content in milk and dairy products // Food Anal. Methods. 2009. V.2. P. 303-310.
5. Ставицкая М.В., Коржова Е.Н., Смагунова А.Н. Разработка методики рентгенофлуоресцентного определения металлов в аэрозолях // Журн. аналит. химии. 2010. Т. 65, № 12. С. 1274-1282.
6. ED-XRF spectrometric analysis of comparative elemental composition of in vivo and in vitro roots of *Andrographis paniculata* (Burm.f.) Wall. ex Nees—a multi-medicinal herb / P. Behera et al. // Appl. Radiat. Isot. 2010. V. 68. P. 2229–2236.
7. Cernohorský T., Pouzar M., Jakubec K. ED XRF analysis of precious metallic alloys with the use of combined FP method // Talanta. 2006. V. 69. P. 538–541.
8. Valcovic V., Moschini G. The use of synchrotron radiation for trace element analysis of biomedical samples // La rivista del nuovo cemento. 1998. V. 16. P. 1-55.
9. Analysis of trace Co in synthetic diamonds using synchrotron radiation excited X-ray fluorescence

- analysis / S. Hayakawa et al. // J. Cryst. Growth. 2000. V. 210. P. 388–394.
10. In situ synchrotron-radiation XRF study of REE phosphate dissolution in aqueous fluids to 800 °C / C. Schmidt et al. // Lithos. 2007. V. 95. P. 87–102.
11. Tin accumulation in spermatozoa of the rats exposed to tributyltin chloride by synchrotron-radiation X-ray fluorescence (SR-XRF) analysis with microprobe / S. Homma-Takeda et al. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B. 2005. V. 231. P. 333–337.
12. Following the traces of Albrecht Dürer: analysis of silverpoint drawings by spatially resolved synchrotron-induced X-ray fluorescence analysis / I. Reiche et al. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B. 2004. V. 226. P. 83–91.
13. A synchrotron XRF study on trace elements and potassium in breast tissue / K. Geraki et al. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B. 2004. V. 213. P. 564–568.
14. The localisation and micro-mapping of copper and other trace elements in breast tumours using a synchrotron micro-XRF system / M.J. Farquharson et al. // Appl. Radiat. Isot. 2007. V. 65. P. 183–188.
15. Synchrotron radiation-based x-ray analysis of bronze artifacts from an Iron Age site in the Judean Hills / E. Friedman et al. // J. Archaeol. Sci. 2008. V. 35. P. 1951–1960.
16. Element distribution in the brain sections of rats measured by synchrotron radiation X-ray fluorescence / N.Q. Liu et al. // Spectrochim. Acta. Part B. 2004. V. 59. P. 255-260.
17. Ide-Ektesabi A., Kawakami T., Watt F. Distribution and chemical state analysis of iron in the Parkinsonian substantia nigra using synchrotron radiation micro beams // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B. 2004. V. 213. P. 590-594.
18. Gigante G. E., Gonsior B. Comparison of different excitation methods for X-ray spectral analysis: the case of synchrotron radiation // Fresenius' J. Anal. Chem. 2000. V. 368. P. 644-648.
19. Зависимость времени жизни пучка электронов в накопителе Нестор от давления остаточного газа / П.И. Гладких и [др.] // Вестник Харьковского университета. 2007. № 777. С. 79-83.
20. Thornagel R., Klein R., Ulm G. The electron storage ring BESSY II as a primary source standard from the visible to the X-ray range // Metrologia. 2001. V. 38. P. 385-389.
21. Quantitative imaging of element spatial distribution in the brain section of a mouse model of Alzheimer's disease using synchrotron radiation X-ray fluorescence analysis / H-J. Wang et al. // J. Anal. At. Spectrom. 2010. V. 25. P. 328-333.
22. Kobayashi K., Shinjiro H. A compact x-ray beam intensity monitor using gas amplified sample current measurement // Rev. Sci. Instrum. 2000. V. 71. P. 20-22.

23. Non-destructive, depth resolved investigation of corrosion layers of historical glass objects by 3D Micro X-ray fluorescence analysis / B. Kanngießner et [al.] // *J. Anal. At. Spectrom.* 2008. V. 23. P. 814-819.
24. Cellular distribution of arsenic and other elements in hyperaccumulator *Pteris nervosa* and their relations to arsenic accumulation / T. Chen et [al.] // *Chin. Sci. Bull.* 2003. V. 48. P. 1586-1591.
25. Arsenic distribution and speciation in an arsenic hyperaccumulator fern by X-ray spectrometry utilizing a synchrotron radiation source / A. Hokura et [al.] // *J. Anal. At. Spectrom.* 2006. V. 21. P. 321-328.
26. Delayed Changes in T1-Weighted Signal Intensity in a Rat Model of 15-Minute Transient Focal Ischemia Studied by Magnetic Resonance Imaging/Spectroscopy and Synchrotron Radiation X-Ray Fluorescence / X. Wang et [al.] // *Magn. Reson. Med.* 2006. V. 56. P. 474-480.
27. Kudryashova A.F., Tarasov L.S., Ulyanov A.A. Some methodical peculiarities of analysis of small-mass samples by SRXFA // *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A.* 1989. V. 282. P. 673-676.
28. Detection of metalloproteins in human liver cytosol by synchrotron radiation X-ray fluorescence after sodium dodecyl sulphate polyacrylamide gel electrophoresis / Y. Gao et [al.] // *Anal. Chim. Acta.* 2003. V. 485. P. 131-137.
29. Koepke J., Behrens H. Trace element diffusion in andesitic melts: An application of synchrotron X-ray fluorescence analysis // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2001. V. 65. P. 1481-1498.
30. Geraki K., Farquharson M.J., Bradley D.A. Concentrations of Fe, Cu and Zn in breast tissue: a synchrotron XRF study // *Phys. Med. Biol.* 2002. V. 47. P. 2327-2339.
31. Farquharson M.J., Geraki K. The use of combined trace element XRF and EDXRD data as a histopathology tool using a multivariate analysis approach in characterizing breast tissue // *X-Ray Spectrom.* 2004. V. 33. P. 240-245.

COMPENSATION OF SYNCHROTRON RADIATION BEAM INTENSITY ALTERATION WHILE MEASURING SPECTRA OF BIOLOGICAL SAMPLES WITH XRF SR METHOD

A.V. Sidorina, V.A. Trunova

*A. V. Nikolaev Institute of Inorganic chemistry SB RAS
Lavrentyev av. 3, 630090 Novosibirsk, Russia*

The present work shows the results of an experiment aimed to evaluate the influence of storage ring current decrease on metrological characteristics of X-ray fluorescent analysis with synchrotron radiation of thin samples with biological matrix. It was shown experimentally that Compton peak normalization of the characteristic peak square can be used not only to take into account sampling procedure differences (geometry and thickness of the samples) but also to take account of the decrease of the excitation radiation intensity.

Key words: X-ray fluorescence analysis, synchrotron radiation, biological standards, evaluation procedure.