

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

P14-86-775

Р.А.Ильхамов, Ли Зен Хо, **Г.М.Осетинский**,  
М.Пайек, И.Халбаев, Ш.Х.Хушмуродов, Р.Шандрик

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ЗОЛЫ УГЛЯ  
МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО  
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
ПРИ ПРОТОННОМ ВОЗБУЖДЕНИИ**

**1986**

## ВВЕДЕНИЕ

Как известно, для определения элементного состава золы угля используется ряд физико-химических методов, утвержденных Государственным стандартом СССР и обеспечивающих получение надежных результатов. Вместе с этим представляет определенный практический интерес рассмотрение возможности применения еще одного метода исследования - метода, основанного на измерении характеристического рентгеновского излучения при бомбардировке золы углей пучком ионов водорода или  ${}^4\text{He}^+$ , ускоряемых на ускорителях заряженных частиц. Указанный метод обеспечивает одновременное получение данных по микроэлементному составу более чем для 20-25 элементов с  $Z$ , находящимися в интервале  $13 \leq Z \leq 92$ , при пороговой чувствительности на уровне  $n \cdot 10^{-5}$  ат.%, где  $1 \leq n \leq 5$ . Важной особенностью метода является то, что для определения элементного состава не требуется использования стандартов, что ценно в ряде практических случаев.

Описанию этой методики измерений, осуществленной в Объединенном институте ядерных исследований на пучке ускоренных ионов водорода, ускоряемых на электростатическом ускорителе Ван-де-Граафа ОИЯИ, и посвящена настоящая работа. В работе представлена методика эксперимента, описаны физические основы метода, даны результаты измерений концентрации примесных элементов в образцах золы угля, взятых с одной из ГРЭС Узбекской ССР. Полученные результаты сравнивались с измерениями этих же образцов химическим методом [1]. На основании сравнения результатов, полученных обоими методами, сделано заключение о применимости метода.

### 1. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОТОННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Концентрация  $c^{\ell}$  элемента  $\ell$ , входящего в состав золы угля, определялась по измерению интегральной интенсивности характеристического рентгеновского излучения /ХРИ/  $Y_{j,s}^{\ell}$   $j$ -линии  $s$ -серии этого элемента. Связь  $Y_{j,s}^{\ell}$  и  $c^{\ell}$  определяется уравнением вида

$$Y_{j,s}^{\ell} = \frac{\alpha^{\ell} L}{A^{\ell}} n_p \epsilon \int_0^{\ell} \sigma_{j,s} (E(x)) e^{-\mu^{\ell} x \frac{\cos \theta}{\cos \psi}} dx, \quad /1/$$

где  $\sigma_{j,s}$  - сечение выхода ХРИ  $j$ -линии  $s$ -серии элемента  $\ell$ , возбуждаемого протонами с энергией  $E$ ,  $\sigma_{j,s} = \sigma_j w$ , где  $\sigma_j$  - сечение

ионизации, а  $w$  - флуоресцентный выход  $s$ -оболочки;  $n_p$  - число протонов, падающих на мишень,  $L, A^\ell$  - число Авогадро и атомный вес,  $\epsilon$  - эффективность регистрации рентгеновского излучения,  $R$  - максимальный пробег протонов в мишени,  $\mu_j^\ell$  - массовый коэффициент ослабления рентгеновского излучения  $j$ -линии  $s$ -серии элемента  $\ell$  элементами, входящими в состав мишени:  $\mu_j^\ell = \sum_k \mu_j^{\ell,k} \cdot c^k$ , где  $\mu_j^{\ell,k}$  - ослабление излучения элементом  $k$ , входящим в состав матрицы мишени с концентрацией  $c^k$ ;  $\theta, \psi$  - углы между нормалью к облучаемой поверхностью и направлением оси пучка и детектора соответственно;  $x$  - глубина излучающего слоя в  $г/см^2$ .

Как видно, определение  $\sigma^\ell$  из уравнения /1/ весьма затруднено, поскольку под интегралом находятся величины  $\sigma(E(x)), \mu_j$ , которые сами зависят от определяемого элементного состава матрицы. Для частного случая, когда суммарная концентрация основных элементов, входящих в состав матрицы, известна, расчет, как это сделано в работе /2/, может быть упрощен. Он основывается на экспоненциальной аппроксимации зависимости сечения выхода характеристического излучения  $j$ -линии элемента  $\ell$  от поверхностной плотности  $x$  излучающего слоя. Согласно /2/, она проводится уравнением

$$\sigma_{j,s}^\ell(x) = \sigma_{0j,s}^\ell e^{-\nu_\ell x}, \quad /2/$$

где  $\sigma_{0j,s}^\ell$  - сечение выхода ХРИ для элемента  $\ell$  при энергии  $E_0$   $\sigma_0 = \sigma_{j,s}^\ell$  /при  $x = 0$ /;  $\nu_\ell$  - параметр, характеризующий изменение ионизирующей способности протона с глубиной проникновения в образец. Величина  $\nu_\ell$  определяется полуэмпирическим соотношением вида

$$\nu_\ell = 6,87 \frac{S_1(E_1)}{E_0} \left(1 - \frac{\sigma_{j,s}^\ell(E_1)}{\sigma_0(E_0)}\right), \quad /3/$$

где  $E_0$  - энергия падающего протона,  $S_1(E_1)$  - тормозная способность в основном элементе однокомпонентной матрицы;  $\sigma(E_1)$  или  $\sigma(E_0)$  относится к элементу, излучение которого мы наблюдаем;  $E_1 = 0,8 E_0$ . Подставляя уравнение /2/ в уравнение /1/, получаем соотношение для интегральной интенсивности  $Y_{j,s}^\ell(R)$  аналитической линии определенного элемента для всего слоя массивного образца

$$Y_{j,s}^\ell(R) = \frac{k}{\cos \theta} c_\ell \sigma_0 \frac{1 - \exp(-\beta_\ell R \cos \theta)}{\beta_\ell}, \quad /4/$$

где

$$k = \frac{\epsilon L}{A^\ell} n; \quad \beta_\ell = \frac{\nu_\ell}{\cos \theta} + \frac{\mu_j^\ell}{\cos \psi}; \quad /5/$$

$\epsilon, L, A^\ell$  определены ранее.

Для многокомпонентных матриц, какими являются зола угля, выражение для  $\beta_\ell$ , согласно /3/, может быть представлено в виде

$$\beta_\ell = \frac{\nu_0^\ell}{S_0(E_1) \cos \theta} \sum_i c_i S_i(E_1) - \frac{1}{\cos \psi} \sum_i c_i \mu_j^{\ell,i}, \quad /6/$$

где  $S$  - тормозная способность ионов в анализируемом веществе. Индекс  $\ell$  подчеркивает, что измерение характеристического рентгеновского излучения проводится от элемента  $\ell$ , входящего в состав сложной матрицы, которая сама состоит из макрокомпонентов с концентрацией  $c_i$ ;  $S_i$  - тормозная способность протонов в матрице, содержащей только один  $i$ -й макрокомпонент.

Входящие в формулу /6/ параметры  $S_i, S_0, \mu_j$  определяются из таблиц /4,5/; величина  $\nu_\ell$  - из уравнения /3/. Рассмотрим, как определяются величины, входящие в формулы /4/ и /5/. Выход ХРИ  $Y_{j,s}^\ell$  определяется по измерению площади пика в спектре характеристического рентгеновского излучения с последующей обработкой полученных спектров по специальной программе на ЭВМ PDP-11/70. Величина  $\sigma_s$  считывается из таблиц  $\sigma_s = f(E)|_Z$ , составленных нами в результате усреднения опубликованных данных по этим зависимостям /6/. Величина  $\mu$  для элементов с атомным номером  $Z$ , находящимся в интервале  $11 \leq Z \leq 33$ , берется из таблиц Монтегиро и др. /7/, а для элементов с  $33 \leq Z \leq 92$  - из таблиц, составленных нами /8/, в которых на основании таблиц ЛНПО "Буревестник" /9/ проведено усреднение значений энергий для  $K_\alpha, K_\beta, L_\alpha, L_\beta$  и других излучений с учетом их вероятности. Число частиц, падающих на мишень, определялось интегратором тока по измерению заряда, переносимого на мишень пучком ускоренных ионов. Эффективность детектирования  $\epsilon$ , значение которой необходимо для расчета концентрации, определялось по измерению выхода ХРИ от стандартных мишеней /Al, S, Cl, Ca, Ti, Cr, Ni, Fe, Cu, Ge, Mo, Ag, Sn, Rb, Ru/, число атомов которых известно и энергия рентгеновского излучения которых перекрывает интересующий нас интервал энергий /1,5-30 кэВ/. Число атомов стандартных мишеней в ат/см<sup>2</sup> определялось по упругому рассеянию ионов <sup>4</sup>He с энергией 2-3 МэВ в той же геометрии, при которой проводились измерения выхода ХРИ.

## 2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Схема опыта представлена на рис.1. Как видно из рисунка, пучок протонов или ионов <sup>4</sup>He от электростатического ускорителя ОИЯИ, пройдя участок ионопровода, попадает на многопозиционную мишень, находящуюся в центре камеры измерений. На этом участке пучок формируется четырьмя диафрагмами. Равномерное распределение тока на мишени обеспечивается расфокусировкой пучка в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью электростатических линз. Мишень изолирована от корпуса и присоединена к интег-

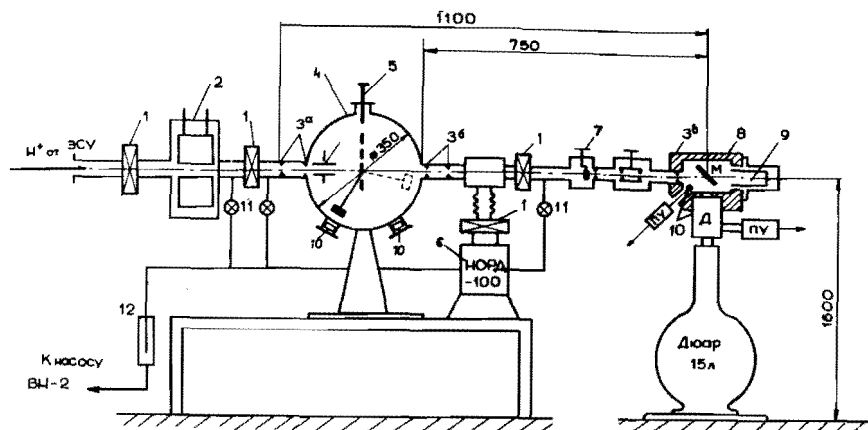


Рис.1. Схема опыта. 1 - вакуумные затворы, 2 - азотная ловушка, 3 а-г - коллиматоры, 4 - промежуточная камера, 5 - держатель мишеней, 6 - насос высокого вакуума, 7 - прибор наблюдений за пучком, 8 - камеры ХРИ, 9 - цилиндр Фарадея, 10 - Si(Li)-детектор.

ратору тока. Под углом  $90^\circ$  по отношению к падающему пучку на расстоянии 50 мм от центра мишени камера имеет отверстие, перекрываемое майларовой фольгой толщиной 10 мкм. За майларовым окном установлен Si(Li)-детектор, импульсы от которого, пройдя через предусилитель и усилитель, накапливаются в памяти ЭВМ МЭРА-60. Усилитель обеспечивает стабильность нулевого уровня на выходе и индикацию импульсов самоналожений. Блок-схема регистрации ХРИ имеет счетчик "живого времени", который суммирует мертвое время детектирования в предусилителе, усилителе и многоканальном анализаторе импульсов и автоматически выдает "живое время" счета на световое табло этого прибора. Энергетическое разрешение спектрометра, измеренное на линии 6,4 кэВ от  $^{57}\text{Co}$ , составляет 220 эВ. В камере под углом  $135^\circ$  установлен кремниевый поверхностно-барьерный детектор, используемый для одновременного измерения упругого рассеяния ионов  $^4\text{He}$ . Принята следующая методика подготовки проб. Высушенные в вакууме золя угля определенной пробы тщательно в течение одного часа растирались в агатовой ступке. Из размельченного таким образом порошка отбиралась проба весом 500 мг и прессовалась до давления 30 тонн на  $\text{см}^2$ .

Рис.2 и 3 представляют собой фотографии гранулометрического состава золя угля без размельчения и с размельчением, проведенным в течение 60 минут. Фотографии получены на растробном элект-

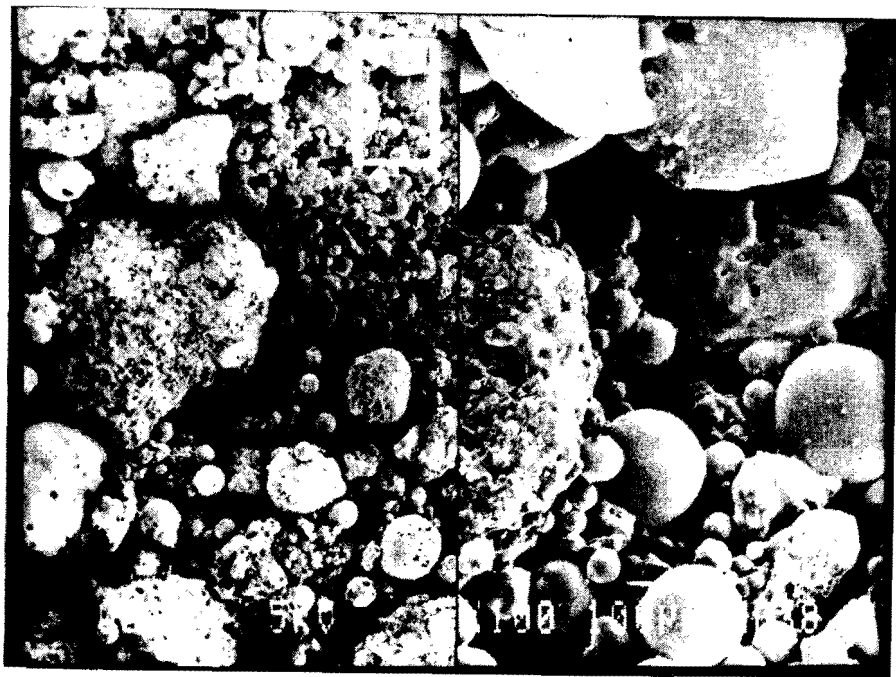


Рис.2. Гранулометрический состав золя угля без размельчения.

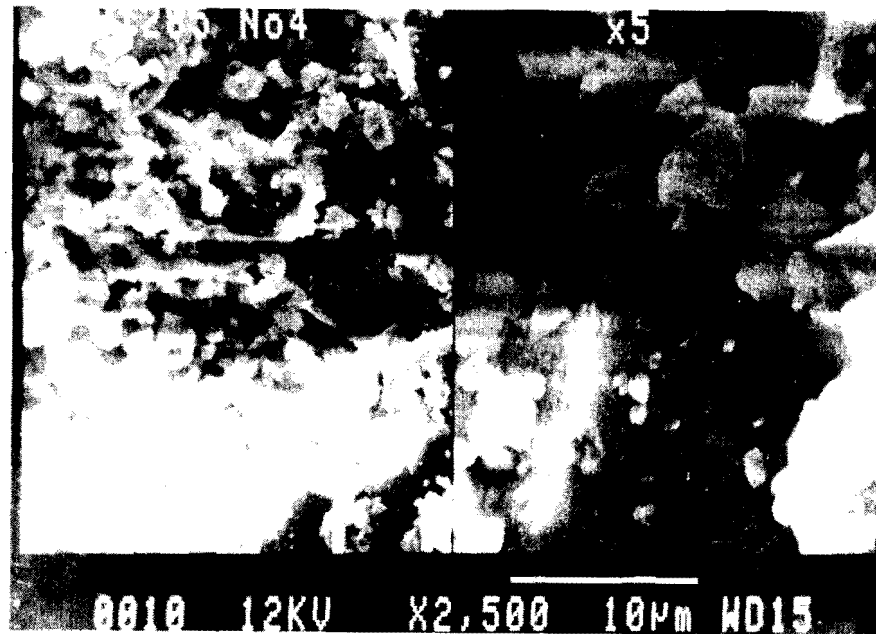


Рис.3. Гранулометрический состав золя угля после размельчения в течение 60 минут.

ронном микроскопе. По ним видно, что если диаметр частиц до размельчения составлял 130 мкм, то после размельчения в течение 60 минут их средний размер уменьшается до 4 мкм. Как показали исследования, размельчение до таких размеров достаточно для получения результата, по концентрации не зависящего от дальнейшего размельчения.

### 3. МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ЗОЛЫ УГЛЯ

Исследовались образцы золы угля, взятые с одной из ГРЭС Узбекской ССР.

Как следует из формулы /6/, для определения концентрации микроэлементов, входящих в состав золы угля, необходимо знание концентрации  $c_i$  элементов, определяющих основной /95%/ состав матрицы. Поэтому основным условием проведения анализа микроэлементов является определение основных элементов, входящих в их состав. Этими элементами были: углерод, кислород, магний, алюминий, кремний, сера, кальций, железо. Определение концентраций кислорода, магния, алюминия, кремния, серы, железа проводилось химическим методом согласно /1/. Концентрация углерода определялась потенциометрическим методом /10/. Поскольку концентрация кислорода в основной матрице золы составляет порядка 45% от всего состава матрицы, в целях контроля правильности определения концентрации кислорода эти величины определялись нейтронно-активационным методом. В табл.1 приведены данные этого анализа, где в первой и второй строках содержатся данные по концентрации кислорода, определенные химическим и нейтронно-активационным методом /11/ соответственно. В последней строке - относительные величины разности этих концентраций в процентах. Как видно из таблицы, совпадение результатов весьма хорошее.

Таблица 1

Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5
44,6	45,83	44,0	43,5	43,4
44,8	44,5	46,1	43,8	45,4
-0,5	+3	-5	-0,7	-4,4

На рис.4 представлен типичный энергетический спектр характеристического рентгеновского излучения одного из образцов золы угля при возбуждении его пучком протонов с энергией 3,0 МэВ.

В табл.2 приведены результаты определения концентрации микроэlementного состава образцов золы угля одной из ГРЭС Узбекской ССР.

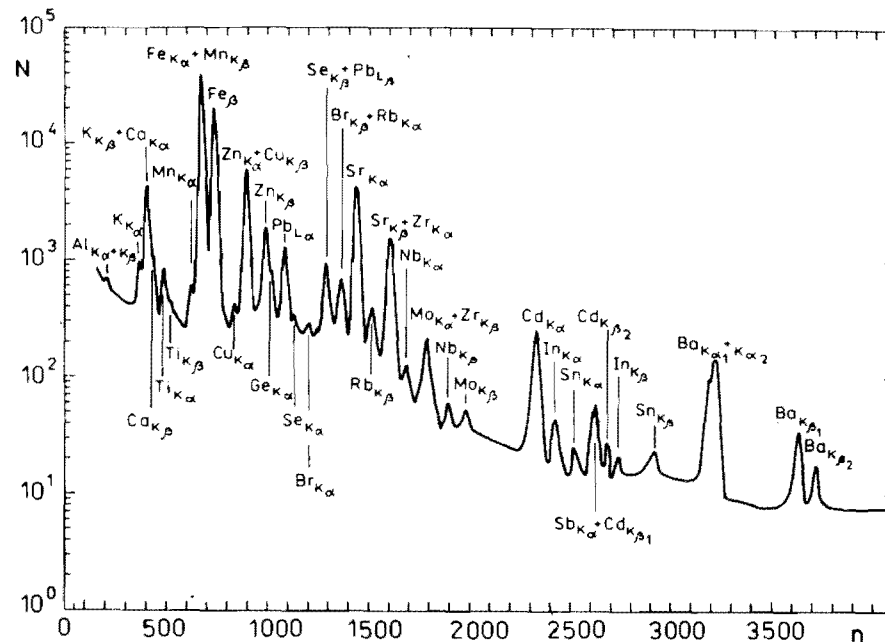


Рис.4. Энергетический спектр характеристического рентгеновского излучения одного из образцов золы угля при возбуждении его пучком протонов с энергией 3 МэВ. На оси абсцисс - каналы многоканального анализатора импульсов. На оси ординат - относительный счет в канале.

Каждый из полученных результатов является усредненной величиной из измерений трех образцов одной серии. Данные второго столбца таблицы получены химическим методом. Среднеквадратичная ошибка в определении концентрации не превышает 20%. Она складывается из:

- а/ Ошибки в определении выхода характеристического рентгеновского излучения /1±5%/;
- б/ ошибки в определении эффективности счета ХРИ - 5±7%;
- в/ ошибки сечения ХРИ /из таблиц/ - 7±10%;
- г/ ошибки в определении  $\beta$  - 14%, в которую входят ошибки в определении  $\mu$  /7%/.

Правильность принятого нами метода определения элементного состава золы угля проверялась по измерению элементного состава ряда воздушно-сухих стандартов /СП-1, СП-2, СВТ-13/, изготовленных в соответствии с ГОСТ 14263 и внесенных в Государственный реестр мер и измерительных приборов.

Таблица 2. Элементный состав золы угля в %

Элемент	Образец 1		Образец 2		Образец 3		Образец 4		Образец 5	
	Хим. метод	Протон. возб.	Хим. метод	Протон. возб.	Хим. метод	Протон. возб.	Хим. метод	Протон. возб.	Хим. метод	Протон. возб.
C	0,52		2,02		0,63		0,35		0,72	
O	44,6		45,83		43,93		43,5		43,4	
Mg	1,87		1,45		1,93		1,57		2,1	
Al	13,1		12,71		13,6		12,4		13,2	
Si	22,63		23,43		22,5		22,5		21,1	
S	0,08		0,2		0,36		0,12		0,72	
K		0,65		0,85		0,58		0,56		0,63
Ca	7,5	4,00	5,93	5,80	7,43	4,00	5,79	3,28	9,14	5,1
Ti		0,42		0,43		0,34		0,56		0,41
V						0,025		0,06		0,083
Cr				0,02						
Mn		0,31		0,57		0,28		0,41		0,31
Fe	9,3	7,00	9,65	8,6	3,15	2,91	7,69	6,55	3,29	3,1
Cu		0,0043		0,0084		0,012		0,016		0,013
Zn		0,13		0,11		0,43		0,21		0,60
Ga						0,0037				
Ge		0,0075		0,0029		0,0085		0,0091		
Se		0,00028				0,0035				
Br		0,00027				0,0046		0,0016		0,0066
Rb		0,027		0,012		0,038		0,025		0,037
Sr		0,12		0,012		0,14		0,11		0,17
Zr		0,032		0,034		0,026		0,029		0,041
Nb		0,0011		0,0015		0,002		0,00027		0,0029
Mo		0,00038				0,0006				0,00024
Cd		0,034		0,039		0,027		0,026		0,043
In		0,0072		0,0092		0,011		0,013		0,020
Sn		0,0026				0,0016				0,0035
Ba		0,61		0,72		0,45		0,68		0,74
Ce						0,02				0,91
Nd		0,040		0,083		0,026		0,13		0,15
Pb		0,005		0,021		0,01		0,035		0,17

Измерения элементного состава стандартов проводились на мишенях, изготовленных тем же методом, что и мишени золы угля. В табл.3 представлены результаты определения концентрации исследуемых стандартов. В этой таблице приведены паспортные данные эталонов и величина  $\delta$ , характеризующая расхождение результатов. Из сравнения видно, что для большинства наблюдаемых элементов результаты в пределах ошибок согласуются между собой. В дополнение к приведенным измерениям в табл.2 и 3 содержатся данные по определению концентрации Ca и Fe химическим методом. Из таблиц ясно, что если для Fe концентрации, определяемые обоими методами, хорошо согласуются между собой, то для Ca это расхождение

Таблица 3

Сравнение результатов определения элементов в стандартных образцах почв и горных пород с помощью протонного возбуждения

Элементы	СП-2		ЧНС-2		СВТ-13	
	Паспортное содержание тат /весовые %/	Наш результат /весовые %/	Паспортное содержание тат /весовые %/	Наш результат /весовые %/	Паспортное содержание тат /весовые %/	Наш результат /весовые %/
K	2,1	2,0	4,9	-	1,4	1,5
Ca	0,58	-	1,1	1,2	0,68	-
Ti	5,0	-	0,52	0,36	4,2·10 <sup>-2</sup>	-
Mn	5,4·10 <sup>-2</sup>	4,7·10 <sup>-2</sup>	0,16	0,15	-	-
Fe	2,1	1,7	4,3	2,5	0,56	0,51
Cu	1,7·10 <sup>-3</sup>	2,0·10 <sup>-3</sup>	7,3·10 <sup>-3</sup>	8,6·10 <sup>-3</sup>	-	-
Zn	4,5·10 <sup>-3</sup>	4,7·10 <sup>-3</sup>	1,4·10 <sup>-2</sup>	1,4·10 <sup>-2</sup>	-	1,4·10 <sup>-2</sup>
Cra	8,5·10 <sup>-4</sup>	7,8·10 <sup>-4</sup>	3,0·10 <sup>-3</sup>	2,5·10 <sup>-3</sup>	-	-
Rb	7,2·10 <sup>-3</sup>	9,1·10 <sup>-3</sup>	1,7·10 <sup>-2</sup>	2,4·10 <sup>-2</sup>	0,18	0,21
Sr	1,2·10 <sup>-2</sup>	1,4·10 <sup>-2</sup>	0,19	0,23	-	4,8·10 <sup>-3</sup>
Zr	5,4·10 <sup>-2</sup>	5,4·10 <sup>-2</sup>	6,0·10 <sup>-2</sup>	6,7·10 <sup>-2</sup>	-	-
Nb	2,2·10 <sup>-3</sup>	2,4·10 <sup>-3</sup>	2,3·10 <sup>-2</sup>	1,9·10 <sup>-2</sup>	7,0·10 <sup>-3</sup>	7,7·10 <sup>-3</sup>

ние достигает 45%. И хотя столь большое расхождение находится в пределах ошибок измерения, допускаемых каждым методом, не исключено, что причиной такого расхождения может быть погрешность, допускаемая нами при определении площади энергетического спектра характеристического рентгеновского излучения Са, который налагается на спектр тормозного излучения, образующегося при взаимодействии ускоренных протонов с мишенью золы.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод определения элементного состава золы угля, основанный на измерении характеристического рентгеновского излучения при бомбардировке исследуемых образцов пучком протонов, может быть весьма полезен при необходимости проведения элементного анализа с несколько улучшенной, по сравнению с другими методами, пороговой чувствительностью  $/n \cdot 10^{-5} \%$ . Важная особенность метода - возможность определения концентрации без использования стандартов. К достоинствам метода следует также отнести возможность одновременного экспрессного определения концентрации до 25 элементов с  $Z$ , находящимися в интервале  $13 < Z \leq 92$ .

Авторы выражают глубокую благодарность профессору М.Я.Шпирту за помощь в работе. Авторы также благодарны А.М.Казанцеву и Э.И.Кирпикову за работу по определению концентрации кислорода и углерода в исследуемых образцах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Угли бурые, каменные, антрацит, горючие сланцы и торф. ГОСТ 10538.0-72 - ГОСТ 10538.8-72.
2. Блохин С.М., Краснолуцкий В.П. Аппаратура и методы рентгеновского анализа, 1981, вып.25, с.9.
3. Алтынов В.А. и др. "Заводская лаборатория", М., 1984, с.18.
4. Блохин М.А. Физика рентгеновских лучей. Физматгиз, М., 1957.
5. Немец О.Ф., Гофман Ю.В. Справочник по ядерной физике. "Наукова думка", Киев, 1975.
6. Бразевич Э. и др. ОИЯИ, Б1-18-81-320, Дубна, 1981.
7. Montenegro E.C., Baptista C.B., Duarte P.W.E.R. Atomic Data and Nucl. Data Tabl., 1978, 22, p.131.
8. Бразевич Э. и др. ОИЯИ, Б1-18-81-438, Дубна, 1981.
9. Комяк Н.И. Таблицы полных массовых коэффициентов ослабления характеристического рентгеновского излучения. Изд-во ЛНПО "Буревестник", Л., 1978.
10. Степин В.В. и др. Анализ цветных металлов и сплавов, М., Металлургия, 1974, с.178.

11. Прокман И.М., Казанцев А.М. и др. Доклады III Всесоюзного совещания по применению ускорителей заряженных частиц в народном хозяйстве, т.IV, Ленинград, НИИЭФА, 1979, с.107-118.

## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
Д3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
Д11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р. 75 к.
Д10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983	3 р. 50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/	13 р. 50 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна 1985.	4 р. 80 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Ильхамов Р.А. и др.

P14-86-775

Определение элементного состава золы угля методом измерения характеристического рентгеновского излучения при протонном возбуждении

В статье представлен метод измерения элементного состава золы угля различных образцов одной ГРЭС, основанный на измерении характеристического рентгеновского излучения /ХРИ/ при возбуждении исследуемых образцов золы пучком протонов, ускоряемых на электростатическом ускорителе Ван-де-Граафа. Основные достоинства метода - одновременное определение концентрации более 20 элементов, входящих в состав пробы, с  $Z$  в интервале  $15 \leq Z \leq 82$  с пределом обнаружения  $n \cdot 10^{-5} \%$ . Полученные результаты сравнивались с химическим методом определения этих же образцов. Правильность получаемых результатов проверялась по измерению элементного состава геологических стандартов /СП-2, СВТ-13 и т.д./.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.  
Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Ilkhamov R.A. et al.

P14-86-775

Determination of the Elementary Composition of Coal Ash Based on the Measurement of Characteristic X-Ray Radiation at Proton Excitation

The method of determination of the elementary composition of coal ash samples taken at one and the same electric power station is reported. The method is based on the measurement of characteristic X-ray radiation after irradiation of the samples with protons from Van de Graaf accelerator. Most advantageous is that one may simultaneously find out the strength of more than twenty elements entering the sample with  $15 \leq Z \leq 82$  within an accuracy of  $n \cdot 10^{-5} \%$ . The results obtained were compared with those obtained from the chemical analysis of the same samples. They were checked for the measurement of elementary composition of geological standards (SP-2, SWT-13, etc).

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986