



## Применение рентгенофлуоресцентного анализа в исследовательских работах по обогащению минерального сырья

Один из наиболее эффективных методов анализа, который обеспечивает получение максимально полной и достоверной информации об элементном составе сложных образцов, независимо от их физического состояния и происхождения, – это метод рентгенофлуоресцентной спектрометрии. Этот метод позволяет одновременно определять более 80 элементов в диапазоне от бора до урана и может применяться для контроля содержания как различных элементов с высокими концентрациями, так и микропримесей в разнообразных материалах. Одним из явных преимуществ метода является возможность получения данных о составе сложных материалов без их разрушения, при этом сохраняются все физико-химические свойства, что особенно важно при работе с дорогостоящими и новыми экспериментальными образцами. Значительным преимуществом также является возможность осуществления безэталонного анализа, что устраняет потребность в использовании стандартных образцов, создание которых часто представляет собой сложную задачу, особенно в случае микрограммовых количеств веществ.

Возможности рентгенофлуоресцентного анализа зависят от номера определяемого элемента. Так лишь для элементов с  $Z=19$  (K) до  $Z=40$  (Zr) чувствительность метода, равная  $n \cdot 10^{-4}$ , соответствует результативности эмиссионной или атомно-абсорбционной спектроскопии. Остальные элементы определяются с чувствительностью  $n \cdot 10^{-3}$  (более тяжелые) и даже  $n \cdot 10^{-2}$  (более легкие).

Анализируемые образцы могут быть как жидкие, так и твердые, причем последние могут иметь любую консистенцию. Следует отметить также простоту приготовления образца и стандартов к исследованию. Вместе с тем, необходимо методически учитывать различные «матричные» эффекты, включая межэлементное влияние, для получения корректных результатов.

К основным аналитическим техническим параметрам, определяющим область применения рентгеновского спектрометра и решаемые им аналитические задачи, относятся: диапазон определяемых элементов; предел обнаружения воспроизводимости; требования к анализируемым пробам; производительность.

В наших исследовательских работах, для получения результатов лабораторных опытов, используется рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный спектрометр с SDD (Silicon Drift Detector) детектором с термоэлектрическим охлаждением. Он позволяет провести точный и быстрый качественный и количественный анализ элементов от натрия ( $^{23}\text{Na}$ ) до урана ( $^{238}\text{U}$ ) в твердом веществе, порошке и жидкости. Анализ может выполняться на воздухе, в вакууме или среде гелия.

Анализ и обработка результатов измерений проводится в автоматическом режиме. Для этого разработаны методики анализа многих элементов для различных типов веществ. Методики реализованы в виде компьютерной программы.

Во время измерения компьютер управляет всеми узлами спектрометра в соответствии с заданной программой анализа. Современный уровень надежности оборудования и устройство автоматической подачи образцов позволяют выполнять анализ непрерывно. По окончании измерений компьютер выполняет расчет концентраций. Результаты анализа накапливаются в базе данных измерений для дальнейшей обработки. Благодаря встроенной цифровой видеокамере и сменным коллиматорам можно измерять образцы небольшого размера, при этом делать акценты на важных деталях.

В качестве примера рассмотрим определения молибдена, особенно его низких содержаний. В большинстве случаев молибден определяют путем фотометрии. Фотометрическим методом анализа можно определить не меньше 0.002 % молибдена. При этом высокая погрешность

анализа (0,001% абс) и большое время определения.

С помощью оптического эмиссионного спектрометра с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES) можно определить молибден до содержания 0.0005%. Однако трудоемкость и себестоимость такого анализа достаточно велика.

В данном случае, создав метод определения низких содержаний молибдена с использованием калибровочной кривой, мы можем за 5 минут (включая пробоподготовку) определять низкие содержания с погрешностью 0,001% абс. Таблица 1

Применение рентгенофлуоресцентного анализа в лабораторных условиях позволяет провести ориентировочную оценку химического состава любого продукта, используемого или

полученного в ходе выполнения работ. Это существенно ускоряет процесс получения результатов экспериментов, что предоставляет возможность оперативно вносить коррективы в ход проводимых исследовательских работ в целом. Рентгенофлуоресцентный анализ обеспечивает высокую точность и воспроизводимость результатов, что делает его эффективным инструментом для качественного и количественного анализа различных материалов. Благодаря широкому диапазону температурных и окружающих условий, в которых возможно проведение анализа, этот метод подходит для множества отраслей и обеспечивает гибкость в лабораторных исследованиях.



Таблица 1

Наименование продукта	Содержание Мо, %	
	Фотометрический метод	Энергодисперсионный спектрометр
Хвосты контрольной флотации проба 1	0,006	0,005
Хвосты контрольной флотации проба 2	0,0115	0,009
Хвосты контрольной флотации проба 3	0,007	0,007



**СИБИРСКИЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

[www.sas24.ru](http://www.sas24.ru)

**Красноярск**  
+7 (391) 258-09-23  
[sas@sas24.ru](mailto:sas@sas24.ru)

**Новосибирск**  
+7 (383) 335-96-35  
[dmg@sas24.ru](mailto:dmg@sas24.ru)

**Москва**  
+7 (916) 503-50-59  
[avs@sas24.ru](mailto:avs@sas24.ru)

**Екатеринбург**  
+7 (922) 035-88-58  
[dnd@sas24.ru](mailto:dnd@sas24.ru)

**Санкт-Петербург**  
+7 (905) 202-31-01  
[dsa@sas24.ru](mailto:dsa@sas24.ru)