

## Новые возможности РФА

© Б. Ж. Жалсараев, М. Д. Буянтуев

Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия. E-mail: molon2@rambler.ru

Предложены рентгеновские спектрометры с повышенной чувствительностью.

**Ключевые слова:** РФА; анализ; рентгеновский спектрометр; детектор.

## New possibilities of the XRFA

B. Zh. Zhalsaraev, M. D. Buyantuev

Geological Institute, SB RAS, Ulan-Ude, Russia. E-mail: molon2@rambler.ru

X-ray spectrometers with advanced sensibility are developed.

**Keywords:** XRF; analysis; x-ray spectrometer; detector.

Рентгеновские исследования внесли существенный вклад в становление физика атома. Более 20 ученых удостоены Нобелевской премии за открытия, связанные с изучением рентгеновского излучения. Первым лауреатом был В.К. Рентген. Мозли в 1913 году установил связь между энергией характеристического излучения и зарядом ядра ( $Z$ ). В дальнейшем по спектрам этого излучения уточнили структуру электронных оболочек атомов и физически обосновали периодический закон Д.И. Менделеева и химию в целом. Возникли флюорография, рентгенофлуоресцентный анализ (РФА), методы анализа структур минералов и молекул. Методом РФА были открыты Hf и Re. Метод рентгеноструктурного анализа привел к прорыву в биологии — расшифровке структуры ДНК.

РФА — доступный метод анализа и «рабочая лошадка» многих наук и технологий, в том числе и геологии. В ГИН СО РАН проводится РФА горных пород, руд, почв, донных осадков и золы на спектрометре с волновой дисперсией (ВДС) PERFORM'X-4200 и на энергодисперсионном поляризационном спектрометре ЭДПРС. Отлажены методики анализа более 50 элементов.

На спектрометре ЭДПРС с поляризатором из алюминия и Si(Li)-детектором пороги определения Pd, Ag и Cd достигают 0.5 ppm и одновременно определяется около 40 элементов за 10 минут, что на порядок лучше и в 5–6 раз быстрее, соответственно, чем на ВДС при определении такого же набора элементов. Также, элементы со средними  $Z$  (от Ni до Ce) лучше определяются на ЭДПРС, а легкие элементы — на ВДС.

Основным недостатком традиционных волновых и энергодисперсионных (без поляризации) спектрометров является высокий порог обнаружения элементов с  $Z < 10$  и  $Z > 42$ .

Мы предложили 3 типа рентгеновских спектрометров с повышенной чувствительностью: 1 — спектрометр с EDWD каналом (Рис. 1); 2 — спектрометр REPTAU для анализа тяжелых элементов (REE, Pt, Au, U) по излучению К-серии; 3 — поляризационный спектрометр. Варианты схем поляризационных спектрометров рассмотрены в [1].

Волновой спектрометр можно преобразовать в EDWD-спектрометр (рис.1) путем установки SDD-детекторов 9 взамен сцинтилляционных счетчиков. Регистрирующая аппаратура 10 содержит дискриминаторы и спектрометрические процессоры. Прибор может работать в двух разных режимах. В волновом режиме основную роль в выделении линии играет кристалл-монокроматор 7, но за счет лучшей разрешающей способности детекторов снизится фон рассеянного диффузно и отраженного в разных порядках излучения. В функции отклика SDD-детекторов отношение фотопика к высоте комптоновского плато в сотни раз выше, и фон уменьшится во много раз. В режиме энергетической дисперсии без монохроматора можно выполнить экспресс анализ отдельных групп элементов.

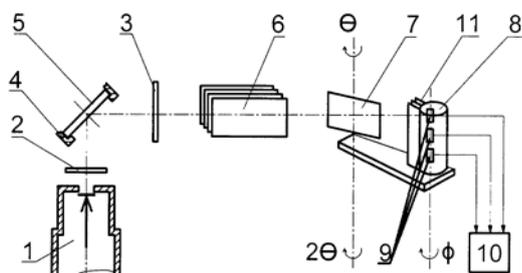


Рис.1. EDWD-спектрометр с SDD-детектором.

В спектрометре REPTAU источник 1 и детекторы 3 (или выход коллиматора 10) расположены в диаметрально противоположных точках сферы с радиусом  $R_1$  (рис. 2). Пробу засыпают в тонкостенный контейнер 6 с плоским или вогнутым дном и располагают на упомянутой сфере. В целом схема близка к традиционной геометрии. Например, в аналогичном спектрометре тяжелых элементов с 10–12 HPGe-детекторами [2] золото в рудах на уровне 1 г/т анализируют за 100 секунд. Однако, использование коллиматора с множеством отверстий при регистрации вторичного излучения создает высокие помехи на полезный сигнал, засыпание пробы в длинный (30 см) узкий контейнер из пластика [2] может привести к неоднородному распределению частиц образца.

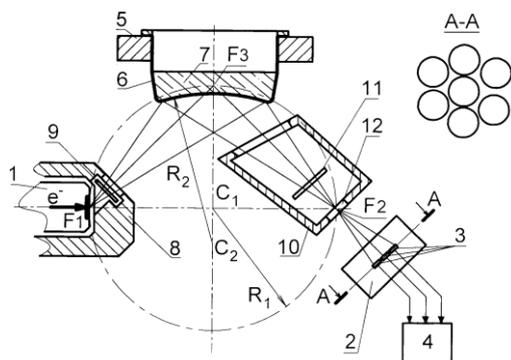


Рис. 2. Спектрометр REPTAU.

Схемы разработаны с учетом частичной поляризации тормозного излучения [3]. В зависимости от схемы детекторы располагают в ряды или вплотную, как показано на (рис. 2).

Спектрометры REPTAU позволяют выполнять РФА за минуты и могут во многом заменить дорогостоящие и длительные анализы с плавкой и химическим вскрытием проб с выделением вредных веществ. Сдерживающим фактором является пока высокая стоимость матрицы детекторов. Опытные образцы можно испытать и с одним детектором.

Разработана модель расчета параметров приборов. При этом уточнены известные формулы теории РФА. Расчеты позволили оптимизировать параметры источников, детекторов, коллиматоров и фильтров, оценить размеры систем, спектры, сигнал, фон и пороги обнаружения элементов.

Таким образом, предложено 3 типа спектрометров повышенной чувствительности. Они позволяют упростить, ускорить, удешевить анализы и расширить возможности метода РФА.

#### Литература

1. Zhalsaraev B. Zh. Development of polarized-beam x-ray spectrometers // Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on X-ray analysis. Ulaanbaatar, 2012. P. 111–123.
2. Robertson M. E. A., Feather C. Determination of gold, platinum and uranium in South African ores by high-energy XRF spectrometry// X-Ray Spectrometry. 2004. V. 33. P. 164–173.
3. Zhalsaraev B. Zh. Polarization of bremsstrahlung x-rays // Abstracts of the 4<sup>th</sup> International Conference on X-ray analysis, NUM, Ulaanbaatar, 2015. P. 20.

**Буянтуев Молон Димитович**, младший научный сотрудник Геологического Института СО РАН, г. Улан-Удэ.