

10. **Гаранин В. Г., Ращенко В. В.** Программируемые генераторы для возбуждения атомно-эмиссионных спектров «Шаровая молния» / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78. № 1. Ч. II. С. 54 – 58.
11. **Шабанова Е. В., Бусько А. Е., Васильева И. Е.** Дуговой сцинтилляционный атомно-эмиссионный анализ порошковых проб при использовании МАЭС с высоким временным разрешением / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78. № 1. Ч. II. С. 24 – 33.
12. **Зарубин И. А., Лабусов В. А., Бокк Д. Н.** Оптимальная система освещения входной щели многоканальных спектрометров «Гранд» и «Экспресс» / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. Т. 81. № 1. Ч. II. С. 114 – 116.
6. **Labusov V. A., Garanin V. G., Zarubin I. A.** Novye spektral'nye komplekсы na osnove analizatorov MAES [New spectral systems based on MAES analyzers] / Zavod. Labor. Diagn. Mater. 2017. Vol. 83. N 1. Part II. P. 15 – 20.
7. **Labusov V. A., Put'makov A. N., Bekhterev A. V.** Novyi mnogokanal'nyi spektrometr dlya atomno-émisionnogo spektral'nogo analiza v diapazone dlin voln 190 – 450 nm [A new multichannel spectrometer for atomic-emission spectrometry at 190 – 450 nm wavelengths] / Analit. Kontrol'. 2005. Vol. 9. N 2. P. 135 – 140.
8. **Labusov V. A., Put'makov A. N., Zarubin I. A., Garanin V. G.** Novye mnogokanal'nye opticheskie spektrometry na osnove analizatorov MAES [New multichannel optical spectrometers based on MAES analyzers] / Zavod. Labor. Diagn. Mater. 2012. Vol. 78. N 1. Part II. P. 7 – 13 [in Russian].
9. **Babin S. A., Labusov V. A., Selyunin D. O., Dzyuba A. A.** Bystrodeistvuyushchie analizatory MAES na osnove lineek BLPP-2000 [BLPP-2000 array based high-speed multichannel analyzers of atomic emission spectra] / Zavod. Labor. Diagn. Mater. 2015. Vol. 81. N 1. Part II. P. 108 – 113 [in Russian].
10. **Garanin V. G., Rashchenko V. V.** Programmiruemye generatory dlya vzbuzhdeniya atomno-émisionnykh spektrov «Sharovaya molniya» [“Thunderball” programmable generators for atomic-emission spectra excitation] / Zavod. Labor. Diagn. Mater. 2012. Vol. 78. N 1. Part II. P. 54 – 58 [in Russian].
11. **Shabanova E. V., Bus'ko A. E., Vasil'eva I. E.** Dugovoi sintsillyatsionnyi atomno-émisionnyi analiz poroshkovykh prob pri ispol'zovanii MAES s vysokim vremennym razresheniem [Scintillation arc atomic emission analysis of powder samples using MAES with high temporal resolution] / Zavod. Labor. Diagn. Mater. 2012. Vol. 78. N 1. Part II. P. 24 – 33 [in Russian].
12. **Zarubin I. A., Labusov V. A., Bokk D. N.** Optimal'naya sistema osveshcheniya vkhodnoi shcheli mnogokanal'nykh spektrometrov «Grand» i «Ékspress» [Optimum system for illuminating the entrance slit of Grand and Ékspress multichannel spectrometers] / Zavod. Labor. Diagn. Mater. 2015. Vol. 81. N 1. Part II. P. 114 – 116 [in Russian].

## REFERENCES

1. **Dzyuba A. A., Labusov V. A., Babin S. A.** Optimizatsiya bazovoi ékspozitsii tverdotel'nogo detektora izlucheniya v stsintillyatsionnom atomno-émisionnom spektral'nom analize [Basic exposure time optimization of a solid-state radiation detector in scintillation atomic emission spectrometry] / Analit. Kontrol'. 2015. Vol. 19. N 1. P. 6 – 12 [in Russian].
2. **Raikhbaum Ya. D.** Fizicheskie osnovy spektral'nogo analiza [Physical basis of spectral analysis]. — Moscow: Nauka, 1980. — 159 p. [in Russian].
3. **Tarasov K. I., Khokhlov V. V.** Novyi difraktsionnyi spektrograf STÉ-1 i ego spektroanaliticheskie vozmozhnosti [New diffraction spectrograph STE-1 and its range of analytical capabilities]. — Leningrad: Izd. Leningr. Dom nauch.-tekhn. propagandy, 1963. Issue 1. — 23 p. [in Russian].
4. **Tarasov K. I.** Spektral'nye pribory [Spectral devices]. — Leningrad: Mashinostroenie, 1977. — 367 p. [in Russian].
5. **Khokhlov V. V.** Mnogoélementnyi spektral'nyi analiz v geologii [Multi-element spectral analysis in geology]. — Leningrad: Nedra, 1986. — 200 p. [in Russian].

УДК 543.423

## АНАЛИЗАТОРЫ МАЭС ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРА «ГРАНД» С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ В ОБЛАСТИ 258 – 269 нм

© С. А. Бабин<sup>1</sup>, В. А. Лабусов<sup>1,2</sup>, Д. О. Селюнин<sup>1</sup>, А. А. Дзюба<sup>1,2</sup>

*Статья поступила 4 октября 2016 г.*

Создан быстродействующий многоканальный анализатор эмиссионных спектров МАЭС для спектрометра «Гранд» с комбинированной гибридной сборкой из 12 линеек фотодетекторов БЛПП-369М1 (регистрируемый диапазон — 190 – 350 нм) и одной линейки БЛПП-2000 (регистрируемый диапазон — 258 – 269 нм). Минимальное время экспозиции составляет 3 мс. Показано, что при базовом времени экспозиции 3 мс отношение сигнал/шум вспышек аналитической спектральной линии золота Au 267,595 нм при их регистрации линейкой БЛПП-2000 в среднем в 10 раз выше значений, полученных с использованием линейки БЛПП-369М1.

**Ключевые слова:** спектроскопия с временным разрешением; атомно-эмиссионный спектральный анализ; порошковые геологические пробы; сцинтилляция; твердотельные детекторы излучения; снижение пределов обнаружения элементов.

**В** настоящее время для определения микропримесей в порошковых пробах способом сцинтилляционной

<sup>1</sup> Институт автоматики и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск, Россия;  
ООО «ВМК-Оптоэлектроника», г. Новосибирск, Россия;  
e-mail: labusov@vmk.ru

<sup>2</sup> Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия.

атомно-эмиссионной спектрометрии (САЭС) все шире используют спектральный комплекс «Гранд-Поток» [1] с регистрацией последовательностей спектров быстродействующими многоканальными анализаторами эмиссионных спектров (МАЭС) [2]. Вследствие неравномерности распределения определяемых элементов, например, благородных металлов, в частицах

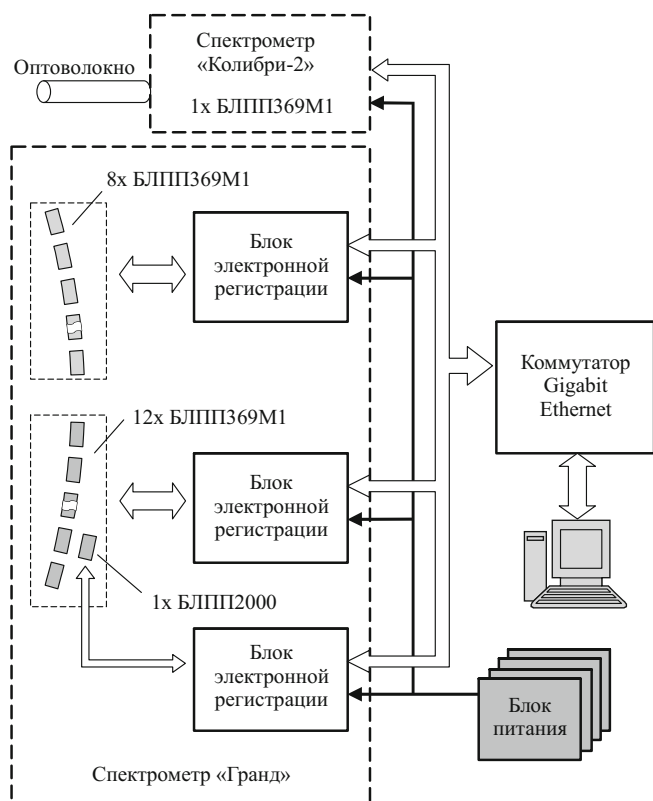


Рис. 1. Схема системы регистрации спектров спектрометра «Гранд» с дополнительной линейкой БЛПП-2000

пробы полученные зависимости интенсивности спектральных линий этих элементов от времени содержат вспышки (сцинтилляции) интенсивности этих линий.

В работах [3 – 5] достигнуто существенное снижение пределов обнаружения благородных металлов в порошковых пробах способом САЭС по сравнению с классическим способом атомно-эмиссионного спектрального анализа, использующим интегральную регистрацию интенсивности спектральных линий. В данных работах регистрацию сцинтилляционного сигнала проводили быстродействующими анализаторами МАЭС при базовом времени экспозиции 4 мс. В анализаторах использовали линейки фотодиодов БЛПП-369М1, отличающиеся от линеек БЛПП-369 [6] высотой фотодиода, равной 4 мм. Применение детектора с более низкими шумами чтения позволит повысить отношение сигнал/шум (ОСШ) при регистрации сцинтилляций и тем самым снизить пределы обнаружения. В частности, использование в САЭС линейки БЛПП-2000 теоретически позволяет повысить ОСШ в несколько раз по сравнению с линейкой БЛПП-369М1 [7]. В работе [8] провели сравнение линеек БЛПП-369М1 и БЛПП-2000 путем их установки в разные порядки дифракции спектрометра СТЭ-1.

Целью работы является создание быстродействующего анализатора МАЭС на основе комбинированной гибридной сборки из 12 линеек фотодетекторов БЛПП-369М1 и одной линейки БЛПП-2000, а также экспериментальное сравнение отношения

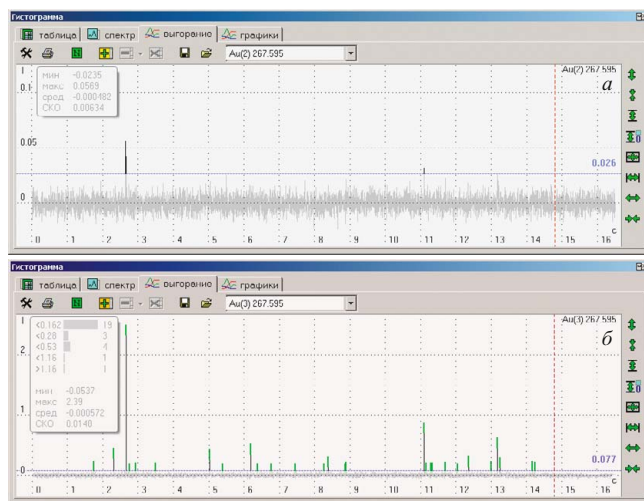


Рис. 2. Зависимость интенсивности спектральной линии Au 267,595 нм от времени при ее регистрации линейкой БЛПП-369М1 (а) и линейкой БЛПП-2000 (б), время экспозиции — 3 мс

сигнал/шум сцинтилляций спектральной линии Au 267,595 нм при ее регистрации этими линейками.

*Экспериментальная установка.* Схема системы регистрации спектров спектрометра «Гранд» показана на рис. 1. Комбинированная гибридная сборка из 12 линеек фотодетекторов БЛПП-369М1 и одной линейки БЛПП-2000 регистрирует спектральный диапазон 190 – 350 нм. Линейка БЛПП-2000 установлена рядом с шестой линейкой БЛПП-369М1 параллельно. Расстояние между центрами фоточувствительных зон линеек составляет 2,8 мм, что при высоте входной щели 7 мм и двухлинзовой системе ее освещения обеспечивает одновременную регистрацию спектра в диапазоне 258 – 269 нм обеими линейками. Диапазон 385 – 470 нм регистрирует гибридная сборка из 8 линеек БЛПП-369М1. Для расширения диапазона спектрометра «Гранд» в длинноволновую область (480 – 600 нм) используют малогабаритный многоканальный спектрометр «Колибри-2» с вводом излучения волоконно-оптическим кабелем, входной торец которого установлен в рамке входной щели спектрометра «Гранд».

*Экспериментальное сравнение БЛПП-369М1 и БЛПП-2000* проводили с использованием порошковых проб, при возбуждении которых обе линейки отчетливо регистрируют сцинтилляции линии золота Au 267,595 нм, а сами сцинтилляции происходят относительно редко, что облегчает сопоставление вспышек и расчет СКО шума сигнала в отсутствие вспышки. Этим критериям соответствовали порошковые пробы ОСО 65-86/1202, ОСО 64-86/1202, ОСО 63-86/1202, СГД-2, СЧС-1, в состав которых входят крупные, но редко встречающиеся частицы золота.

Пробы возбуждали с использованием электродуговой установки для анализа порошковых проб методом просыпки-вдувания «Поток» при типовых усло-

виях возбуждения (графитовые электроды, переменный ток — 22 А, частота — 100 Гц). Базовое время экспозиции составляло 3 мс. Обработку последовательности спектров в обоих случаях проводили с помощью расширенного алгоритма программы «Атом» [9]. В качестве примера на рис. 2 приведены графики зависимости интенсивности линии Au 267,595 нм от времени при ее одновременной регистрации линейками БЛПП-369М1 и БЛПП-2000. Видно, что линейка БЛПП-369М1 регистрирует всего две самые сильные вспышки, в то время как БЛПП-2000 — на порядок больше.

Для анализа из зарегистрированной последовательности спектров отбирали вспышки Au 267,595 нм продолжительностью менее 3 мс. Для каждой вспышки, зарегистрированной с помощью линейки БЛПП-369М1, определяли соответствующую вспышку, зарегистрированную с помощью линейки БЛПП-2000, и сравнивали их ОСШ. В среднем по 20 вспышкам ОСШ линейки БЛПП-2000 было в  $10,3 \pm 1,5$  раза выше, чем ОСШ БЛПП-369М1, что согласуется с результатами, полученными в работе [8].

Таким образом, создан быстродействующий анализатор МАЭС для спектрометра «Гранд» с комбинированной гибридной сборкой из 12 линеек фотодетекторов БЛПП-369М1 и одной линейки БЛПП-2000. Минимальное время экспозиции составляет 3 мс.

Экспериментально показано, что отношение сигнал/шум вспышек аналитической спектральной линии золота Au 267,595 нм при регистрации их линейкой БЛПП-2000 в среднем в 10 раз выше значений, полученных с использованием линейки БЛПП-369М1.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Лабузов В. А., Гаранин В. Г., Зарубин И. А.** Новые спектральные комплексы на основе анализаторов МАЭС / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. Т. 83. № 1. Ч. II. С. 15 – 20.
2. **Селюнин Д. О., Бабин С. А., Лабузов В. А.** Высокоскоростные анализаторы МАЭС с интерфейсом Gigabit Ethernet / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78. № 1. Ч. II. С. 39 – 43.
3. **Васильева И. Е., Шабанова Е. В., Бусько А. Е., Кунаев А. Б.** Методика определения содержания золота и серебра в геологических образцах с использованием сцинтилляционного атомно-эмиссионного анализа с высоким временным разрешением / Аналитика и контроль. 2010. Т. 14. № 4. С. 201 – 213.
4. **Шабанова Е. В., Васильева И. Е., Бусько А. Е., Кунаев А. Б.** Оценка размера частиц золота и серебра в геологических образцах с использованием сцинтилляционного атомно-эмиссионного анализа с высоким временным разрешением / Аналитика и контроль. 2010. Т. 14. № 4. С. 186 – 200.
5. **Шабанова Е. В., Бусько А. Е., Васильева И. Е.** Дуговой сцинтилляционный атомно-эмиссионный анализ порошковых проб при использовании МАЭС с высоким временным разрешением / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78. № 1. Ч. II. С. 24 – 33.
6. **Лабузов В. А., Бехтерев А. В.** Линейки фотодиодов — базовые элементы многоканальных анализаторов атомно-эмиссионных спек-

тров / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. Т. 73. Специальный выпуск. С. 7 – 12.

7. **Бабин С. А., Лабузов В. А.** Оценка оптимальных параметров многоэлементных твердотельных детекторов для сцинтилляционного атомно-эмиссионного спектрального анализа / Аналитика и контроль. 2014. Т. 18. № 1. С. 40 – 49.
8. **Бабин С. А., Лабузов В. А., Селюнин Д. О., Дзюба А. А.** Быстродействующие анализаторы МАЭС на основе линеек БЛПП-2000 / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. Т. 81. № 1. Ч. II. С. 108 – 113.
9. **Семенов З. В., Лабузов В. А., Неклюдов О. А., Ващенко П. В.** Алгоритм обработки последовательностей спектров для сцинтилляционного атомно-эмиссионного спектрального анализа / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. Т. 81. № 1. Ч. II. С. 135 – 142.

## REFERENCES

1. **Labusov V. A., Garanin V. G., Zarubin I. A.** Novye spektral'nye komplekсы na osnove analizatorov MAÉS [Novel Spectral Systems based on MAES Analyzers] / Zavod. Labor. Diagn. Mater. 2017. Vol. 83. N 1. Part II. P. 15 – 20 [in Russian].
2. **Selyunin D. O., Babin S. A., Labusov V. A.** Vysokoskorostnye analizatory MAÉS s interfeisom Gigabit Ethernet [High-speed MAES analyzers with Gigabit Ethernet interface] / Zavod Lab. Diagn. Mater. 2012. Vol. 78. N 1. Part II. P. 39 – 43 [in Russian].
3. **Vasil'eva I. E., Shabanova E. V., Bus'ko A. E., Kunaev A. B.** Metodika opredeleniya soderzhaniya zolota i serebra v geologicheskikh obraztsakh s ispol'zovaniem stsintillyatsionnogo atomno-émisionnogo analiza s vysokim vremennym razresheniem [Technique of gold and silver determination in geological samples using high time-resolved scintillation atomic emission analysis] / Analit. Kontrol'. 2010. Vol. 14. N 4. P. 201 – 213 [in Russian].
4. **Shabanova E. V., Vasil'eva I. E., Bus'ko A. E., Kunaev A. B.** Otsenka razmera chastits zolota i serebra v geologicheskikh obraztsakh s ispol'zovaniem stsintillyatsionnogo atomno-émisionnogo analiza s vysokim vremennym razresheniem [Estimation of Au- and Ag- particle sizes in geological samples using high time-resolved scintillation atomic emission analysis] / Analit. Kontrol'. 2010. Vol. 14. N 4. P. 186 – 200 [in Russian].
5. **Shabanova E. V., Bus'ko A. E., Vasil'eva I. E.** Dugovoi stsintillyatsionnyi atomno-émisionnyi analiz poroshkovykh prob pri ispol'zovanii MAÉS s vysokim vremennym razresheniem [Scintillation arc atomic emission analysis of powder samples using MAES with high temporal resolution] / Zavod Lab. Diagn. Mater. 2012. Vol. 78. N 1. Part II. P. 24 – 33 [in Russian].
6. **Labusov V. A., Bekhterev A. V.** Lineiki fotodiodov — bazovye élementy mnogokanal'nykh analizatorov atomno-émisionnykh spektrov [Photodiode arrays as a base element of atomic emission spectra multichannel analyzers] / Zavod Lab. Diagn. Mater. 2007. Vol. 73. Special issue. P. 7 – 12 [in Russian].
7. **Babin S. A., Labusov V. A.** Otsenka optimal'nykh parametrov mnogo-élémentnykh tverdotel'nykh detektorov dlya stsintillyatsionnogo atomno-émisionnogo spektral'nogo analiza [Estimation of the optimal parameters of multi-element solid-state detectors for atomic emission spectral scintillation analysis] / Analit. Kontrol'. 2014. Vol. 18. N 1. P. 40 – 49 [in Russian].
8. **Babin S. A., Labusov V. A., Selyunin D. O., Dzyuba A. A.** Bystrodeistvuyushchie analizatory MAÉS na osnove lineek BLPP-2000 [BLPP-2000 array based high-speed multichannel analyzers of atomic emission spectra] / Zavod Lab. Diagn. Mater. 2015. Vol. 81. N 1. Part II. P. 108 – 113 [in Russian].
9. **Semenov Z. V., Labusov V. A., Neklyudov O. A., Vashchenko P. V.** Algoritm obrabotki posledovatel'nostei spektrov dlya stsintillyatsionnogo atomno-émisionnogo spektral'nogo analiza [Algorithm for processing sequences of spectra for scintillation atomic emission spectral analysis] / Zavod Lab. Diagn. Mater. 2015. Vol. 81. N 1. Part II. P. 135 – 142 [in Russian].