

## Исследование спектров поглощения атомного пара на высокоразрешающем спектральном приборе «Гранд-2000»

*Н. А. Колосов<sup>1,2\*</sup>, С. С. Болдова<sup>1,2</sup>, В. А. Лабусов<sup>1,2,3</sup>*

<sup>1</sup> Институт автоматики и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup> ООО «ВМК-Оптоэлектроника», г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>3</sup> Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: kolosov.nikita1997@yandex.ru

**Аннотация.** Работа посвящена исследованию спектров поглощения атомного пара, полученного в графитовой печи электротермического атомизатора и зарегистрированного высокоразрешающим спектральным прибором «Гранд-2000» (спектральное разрешение 4 пм). Сравнение полученных спектров со спектрами, зарегистрированными спектральным прибором «Гранд-2», входящим в состав атомно-абсорбционного спектрометра «Гранд-ААС», показало наличие неразрешенных спектральных наложений у последних, а также некоторое число неразрешенных дублетов аналитических линий, как уже внесенных в базу данных спектральных линий поглощения химических элементов, так и отсутствующих в них. По результатам работы можно говорить о пригодности спектрального прибора «Гранд-2000» для корректировки этой базы данных.

**Ключевые слова:** атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС), одновременный многоэлементный анализ, электротермический атомизатор, графитовая кювета, высокое разрешение, спектральные помехи

## Investigation of atomic vapor absorption spectra on the high-resolution spectrometer "Grand-2000"

*N. A. Kolosov<sup>1,2\*</sup>, S. S. Boldova<sup>1,2</sup>, V. A. Labusov<sup>1,2,3</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Automation and Electrometry SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> "VMK-Optoelektronika" LLC, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>3</sup> Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: kolosov.nikita1997@yandex.ru

**Abstract.** The work is devoted to the study of atomic vapor absorption spectra obtained in the electrothermal atomizer (graphite furnace) and registered by the high-resolution spectrometer "Grand-2000" (spectral resolution 4 pm). Comparison of the obtained spectra with the spectra recorded by the "Grand-2" spectrometer, which is a part of the "Grand-AAS" atomic absorption spectrometer, indicated the presence of unresolved spectral interferences in the latter, as well as a number of unresolved doublets of analytical lines, both already presented in the database of spectral absorption lines of chemical elements, and missing in it. Based on the results of the work, we can talk about the suitability of the "Grand-2000" spectrometer for adjusting this database.

**Keywords:** atomic absorption spectrometry (AAS), simultaneous multi-element analysis, electrothermal atomizer, graphite furnace, high resolution, spectral interferences

## *Введение*

В работе [1] было показано, что несмотря на существенно меньшее число аналитических линий в спектрах поглощения атомных паров химических элементов в сравнении с их спектрами излучения, существует потребность в высоко разрешающем спектральном приборе для анализа проб сложного состава методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) с источником непрерывного спектра и электротермической атомизацией [2–5]. Возможные спектральные помехи, являющиеся следствием недостаточной разрешающей способности спектрального прибора, могут приводить к ошибкам анализа [6]. В связи с этим возникает закономерный вопрос о достаточности разрешающей способности спектрального прибора «Гранд-2», являющегося в настоящее время основным спектральным прибором, применяемым в составе атомно-абсорбционного спектрометра «Гранд-ААС» для одновременной многоэлементной электротермической ААС [7]. Поскольку в настоящее время доступен недавно созданный высоко разрешающий спектральный прибор «Гранд-2000» [8–9] есть возможность сравнить спектры поглощения, полученные на этих двух приборах. Основываясь на имеющейся базе данных спектральных линий поглощения химических элементов [10], куда также внесены линии из базы данных NIST [11], можно ожидать разрешения некоторых спектральных наложений.

Таким образом, целью данной работы является исследование спектров поглощения атомных паров химических элементов, полученных в графитовой печи электротермического атомизатора, зарегистрированных высоко разрешающим спектральным прибором «Гранд-2000», и выявление вероятных случаев спектральных наложений при использовании спектрального прибора «Гранд-2».

### *Методы и материалы. Экспериментальная установка*

Экспериментальная установка, использовавшаяся в настоящей работе, создана на основе прототипа атомно-абсорбционного спектрометра с источником непрерывного спектра и электротермической атомизацией [12]. Наиболее важным отличием является применение высоко разрешающего спектрального прибора «Гранд-2000» со сборками линеек фотодетекторов БЛПП-4000, разрешение которого составляет около 4 пм в диапазоне длин волн 190–350 нм и 30 пм в диапазоне длин волн 350–780 нм. Исследования проводились в наиболее интересном для ААС спектральном диапазоне 190–350 нм.

### *Стандартные образцы*

В качестве проб для анализа в ходе эксперимента использовалась смесь многоэлементных стандартов МЭС-1, МЭС-2, МЭС-3, МЭС-4 и МЭС-РЗМ производства НПП «Скат», состоящая из 58 элементов. Концентрация различных элементов в пробе варьировалась в диапазоне 100–1000 мкг/л.

## Результаты и обсуждение. Сравнение спектрального разрешения

Спектральное разрешение будем характеризовать шириной спектральной линии на полувысоте. На рис. 1 представлена зависимость ширины пиков поглощения на их полувысоте (ШПВ) от длины волны для спектральных приборов «Гранд-2» с БЛПП-2000 [13] и БЛПП-4000 [14], а также «Гранд-2000» с БЛПП-4000. Таким образом, среднее значение спектрального разрешения для «Гранд-2000» в диапазоне длин волн 190–350 нм составляет 4,5 пм. Этот же параметр для спектрального прибора «Гранд-2» с БЛПП-2000 и БЛПП-4000 составляет 15 пм и 8,5 пм соответственно.

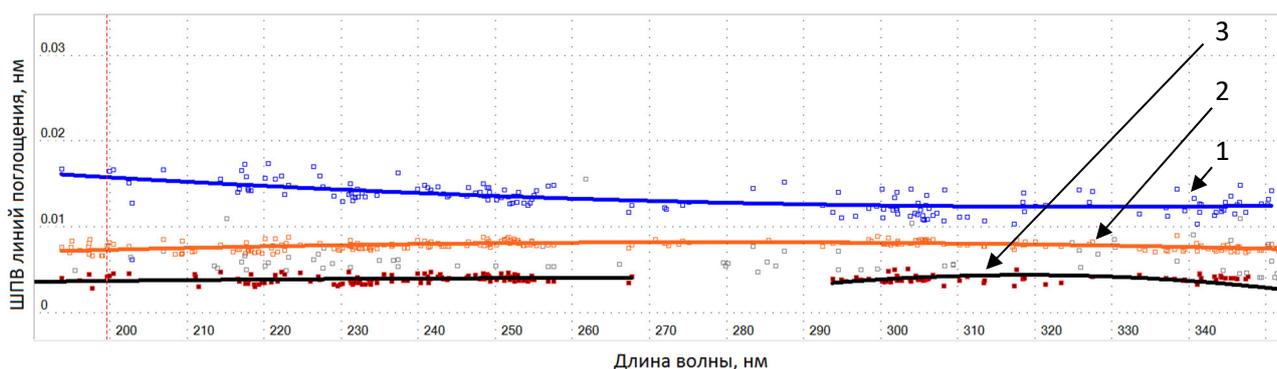


Рис. 1. Зависимость спектрального разрешения от длины волны:

1 – «Гранд-2» с БЛПП-2000, 2 – «Гранд-2» с БЛПП-4000, 3 – «Гранд-2000» с БЛПП-4000

### Особенности спектров «Гранд-2000»

В спектрах поглощения, полученных на высокоразрешающем спектральном приборе «Гранд-2000», разрешается ряд наложений спектральных линий, неразрешенных на «Гранд-2», примеры которых приведены на рис. 2-3. Рис. 2 демонстрирует пример наложения мешающей линии стронция на основную аналитическую линию золота, что в случае не разрешения этих линий может приводить к ошибке анализа. В свою очередь на рис. 3 можно увидеть разрешенный только на «Гранд-2000» дублет висмута, который в настоящее время отображен в базе данных спектральных линий поглощения как одна линия.

### Заключение

На спектральном приборе «Гранд-2000» получен практически вдвое меньший предел спектрального разрешения линий поглощения в сравнении с «Гранд-2» при использовании сборок линеек фотодетекторов БЛПП-4000. Это позволило выявить ряд спектральных наложений на аналитические линии элементов и обнаружить дублиеты линий, которые внесены в базу данных NIST, как одна линия. Спектральный прибор «Гранд-2000» может быть в дальнейшем использован для корректировки базы данных линий поглощения элементов.

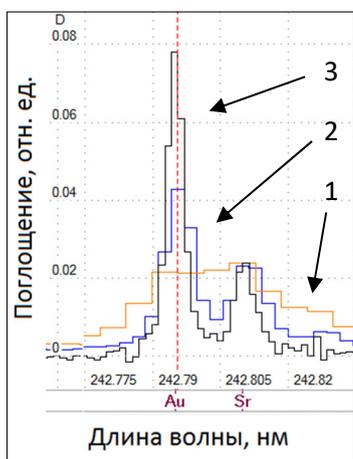


Рис. 2. Фрагменты спектров поглощения, зарегистрированные:

1 – «Гранд-2» с БЛПП-2000, 2 – «Гранд-2» с БЛПП-4000, 3 – «Гранд-2000» с БЛПП-4000 в окрестности спектрального наложения Au 242,795 нм + Sr 242,810 нм

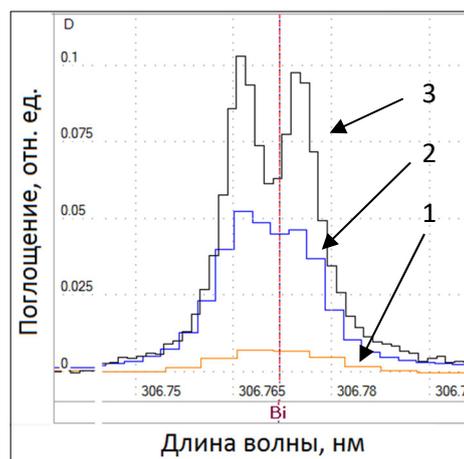


Рис. 3. Фрагменты спектров поглощения, зарегистрированные:

1 – «Гранд-2» с БЛПП-2000, 2 – «Гранд-2» с БЛПП-4000, 3 – «Гранд-2000» с БЛПП-4000 в окрестности вероятного дублета аналитической линии Bi 306,772 нм

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колосов Н.А., Болдова С.С. Исследование влияния спектральных помех на результаты определения элементов на атомно-абсорбционном спектрометре с источником непрерывного спектра // Материалы XV международной выставки и научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь», «СибОптика-2019», Новосибирск, 24-26 апреля 2019 г., т. 8. Новосибирск: Издательство СГУГиТ, 2019. – С. 168–175.
2. Пупышев А.А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ. Москва: Техносфера, 2009. – 784 с.
3. Кацков Д.А. Введение в многоэлементный атомно-абсорбционный анализ // Аналитика и контроль. 2018. – Т. 22, №4. – С. 350–442.
4. Болдова С.С., Путьмаков А.Н., Лабусов В.А., Боровиков В.М., Селюнин Д.О., Бейзель Н.Ф., Гуськова Е.А. О создании прибора для одновременного многоэлементного атомно-абсорбционного спектрального анализа на основе спектрометра высокой дисперсии и источника непрерывного спектра // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. – Т. 81, № 1-II. – С. 148–153.
5. С. С. Болдова, В. А. Лабусов, Д. А. Кацков, В. М. Боровиков, Д. О. Селюнин, А. С. Халфин. Атомно-абсорбционный спектрометр с непрерывным источником спектра для одновременного многоэлементного анализа // Применение анализаторов МАЭС в промышленности: материалы 15 междунар. симп., Академгородок, Новосибирск, 16–18 авг. 2016 г. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. – С. 166–170. – ISBN 978-5-7692-1509-4.
6. Колосов Н.А., Болдова С.С. Оценка возможности определения элементного состава сточных вод с использованием малогабаритного атомно-абсорбционного спектрометра с источником непрерывного спектра // Материалы XVI международной выставки и научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь», «СибОптика-2020». – Новосибирск, 18 июня – 8 июля 2020 г. – Т. 8-1. – Новосибирск: Издательство СГУГиТ, 2020. – С. 55–64. – ISSN 2618-981X (<https://doi.org/10.33764/2618-981X-2020-8-1-55-64>).
7. Лабусов В.А., Болдова С.С., Селюнин Д.О., Скоробогатов Д.Н., Саушкин М.С., Зарубин И.А., Бокк Д.Н., Семенов З.В., Неклюдов О.А., Ващенко П.В. Атомно-абсорбционный

спектрометр высокого разрешения для одновременного многоэлементного анализа // Аналитика и контроль, 2018. – Т. 22, № 4. – С. 451.

8. Дзюба А.А., Лабусов В.А., Зарубин И.А. Новый атомно-эмиссионный спектрометр «Гранд-2000» // «Заводская лаборатория. Диагностика материалов». – 2022. – Том 88. – № 1. – Ч. II. – С. 27–33. DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2022-88-1-II-27-33>.

9. Дзюба А.А., Додонов С.В., Лабусов В.А. Аналитические возможности спектрометра высокого разрешения «Гранд-2000» в дуговом атомно-эмиссионном анализе // Аналитика и контроль. – 2021. – Т. 25. – № 4. – С. 331–339. (<http://dx.doi.org/10.15826/analitika.2021.25.4.009>).

10. Колосов Н.А., Болдова С.С. База данных спектральных линий для атомно-абсорбционного спектрального анализа с непрерывным источником спектра // Интерэкспо ГЕО-Сибирь, «СибОптика-2018», Новосибирск, 23–24 апреля 2018 г. – Т. 5, №2. – С. 202–210.

11. Atomic Spectra Database [электронный ресурс]: [http:// physics.nist.gov/pml/atomic-spectra-database](http://physics.nist.gov/pml/atomic-spectra-database) (дата обращения 10.05.2022)

12. Labusov V.A., Boldova S.S., Selyunin D.O., Semenov Z.V., Vashchenko P.V., Babin S.A. High-resolution continuum-source electrothermal atomic absorption spectrometer for simultaneous multi-element determination in the spectral range of 190–780 nm // Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2019. – Vol. 34. – P. 1005–1010.

13. Бабин С.А., Лабусов В.А., Селюнин Д.О., Дзюба А.А. Быстродействующие анализаторы МАЭС на основе линеек БЛПП-2000 // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2015. – Т. 81, № 1-II. – С. 108–113.

14. Бабин С.А., Селюнин Д.О., Лабусов В.А. Быстродействующие анализаторы МАЭС на основе линеек фотодетекторов БЛПП-2000 и БЛПП-4000 // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2019. Т. 85. – № 1-2. – С. 96–102.

© Н. А. Колосов, С. С. Болдова, В. А. Лабусов, 2022