

Рис. 3 Вид помещения снаружи (программа Dialux Evo).

Качественное освещение требует моделирования его на компьютере; фото-реалистическая визуализация обеспечивает всестороннюю эстетическую оценку освещения и является «языком общения» проектировщика – светотехника с архитектором и/или светодизайнером. Все это подталкивает разработчиков программного обеспечения к его усложнению либо к интегрированию в уже готовый продукт всевозможных дополнений (Plug-In) и расширению рынка распространения.

#### Список литературы:

1. Никитин В.Д., Толкачева К.П. Световое поле в установках наружного освещения: Учебное пособие. – Томск. : Изд-во ТПУ, 2010. – 113с.
2. Толкачева К.П. Особенности дизайн-проекта и технического проектирования // IX Международная конференция студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук»: Сборник научных трудов. – Томск – 2012. – С. 794–796.
3. Официальный сайт «Dialux-Help расчет и проектирование освещения». Электронный ресурс: <http://www.dialux-help.ru/>.
4. Официальный сайт программы Relux. Электронный ресурс: <http://www.relux.biz/>.

### ВЗРЫВНОЙ ИСТОЧНИК СВЕТА ДЛЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

*А. Турлыбекұлы, магистрант гр. 4ВМ3Б,*

*Е. Кошкинбаев, магистрант гр. 4ВМ41,*

*В.В. Лысык, аспирант кафедры ЛиСТ*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30*

*Тел.: (953)-920-53-45*

*E-mail: aturlybekuly@gmail.com*

В аналитической химии существуют различные методы оптической атомной спектроскопии, дающие возможность определения элементного состава изучаемого

вещества. Одним из методов является атомный эмиссионный спектральный анализ (АЭСА), основанный на измерении интенсивности электромагнитного излучения, испускаемого атомами определяемого элемента, которые находятся в газо- или парообразном состоянии. Экспрессные методы АЭСА широко применяются в промышленности, геологии и многих других областях науки и техники [1].

Одной из основных составляющих систем для АЭСА является источник возбуждения спектров (ИВС). Корректность и точность спектрального анализа в значительной степени зависит от ИВС, в котором, собственно, анализируемая проба должна высветить характеристическое излучение, соответствующее элементам, присутствующим в пробе, а интенсивность спектральных линий должна быть пропорциональна количеству атомов в пробе [2]. В простейшем случае атомизатором при спектральном анализе может служить пламя. Однако в пламени можно достичь температуры только до 3000 К. В этом случае в достаточных количествах возбуждаются лишь атомы наиболее легковозбудимых элементов — щелочных и щелочноземельных металлов. Для достижения более высоких температур необходимы другие источники атомизации и возбуждения. К ним относятся атомизаторы на основе дугового и искрового разрядов и плазменные атомизаторы [3].

Для целей геохимии и экологических исследований интерес вызывают установки, позволяющие проводить элементный анализ непосредственно твердой фазы. Современные приборы, использующие индуктивно-связанную плазму (ICP): для эмиссионной спектрометрии ICP-AES и для масс-спектрометрии ICPMS — предназначены для анализа растворов и имеют существенные ограничения по концентрации примесей. Да и растворение геологических проб достаточно трудоемкий и сложный процесс из-за широкого разнообразия состава и большого количества анализируемых элементов, которые интересуют геохимиков [2].

Появление новых взрывчатых веществ (ВВ) дает возможность применения энергии взрыва ВВ для испарения, атомизации и возбуждения спектров различных проб. Температура плазмы взрывных источников оптического излучения, согласно [4], составляет ~23 000 К

Цель данной работы - изучить возможность применения взрывных источников излучения в атомной и молекулярной спектроскопии. В качестве исследуемых проб использовались соли  $BaCl_2$  и  $SrCl_2$ .

Для атомизации и возбуждения эмиссионных спектров применялись прессованные порошки фуразанотетразин диоксида ( $C_2N_6O_3$ , ФТДО) в виде таблеток толщиной 400 мкм и диаметром 3 мм, полученные прессованием под давлением  $10^9$  Па [5]. Инициирование взрыва производилось воздействием сильноточного электронного пучка (СЭП). Методы и процессы взрывного разложения использованных ВВ с помощью СЭП подробно описаны в работах [6–8]. Для демонстрации возможности применения ВВ как ИВС на таблетку ВВ помещалась исследуемая проба.

Источником инициирования взрыва ВВ являлся СЭП, генерируемый с помощью импульсного ускорителя электронов на основе ГИН-600 конструкции Г.А. Месяца и Б.М. Ковальчука [9]. Регистрация эмиссионных спектров производилась с помощью оптоволоконного интегрального спектрометра AvaSpec Dual, спектральный диапазон измерений составлял 480–980 нм, спектральное разрешение  $\approx 1,5$  нм. Спектры высокого разрешения до 0,1 нм, регистрировались на фотоаппарат SONY, установленный вместо выходной щели монохроматора МДР-23, спектральный

диапазон измерений этого метода составлял 400-700 нм, ширина получаемых спектрограмм – 25 нм.

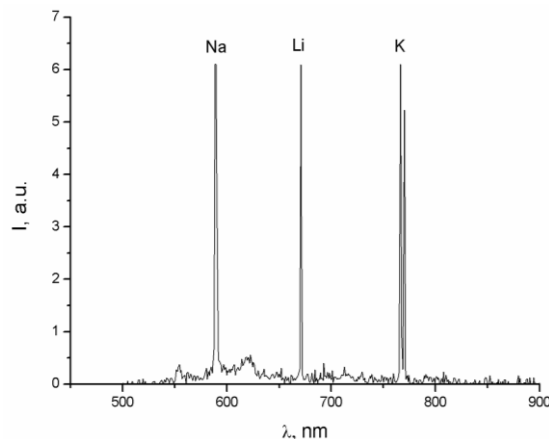


Рис. 1. Спектр взрывного свечения чистого ФТДО, расположенного на подложке из алюминия при инициировании электронным пучком

Сначала были изучены спектры взрывного свечения «чистых» образцов ФТДО. Спектр взрывного разложения ВВ приведен на рисунке 1. Видно, что на фоне сплошного спектра выделяются четыре линии, принадлежащие: натрию (588,9 нм и 589,5 нм), литию (670,7 нм) и калию (769,8 нм и 766,4 нм). Дублет линии натрия зарегистрирован как одна линия вследствие недостаточной разрешающей способности спектрометра. Наличие в спектрах взрывного свечения ФТДО линий щелочных металлов (Na, Li, K), свидетельствует о вхождении примесей в состав образцов при их изготовлении [10].

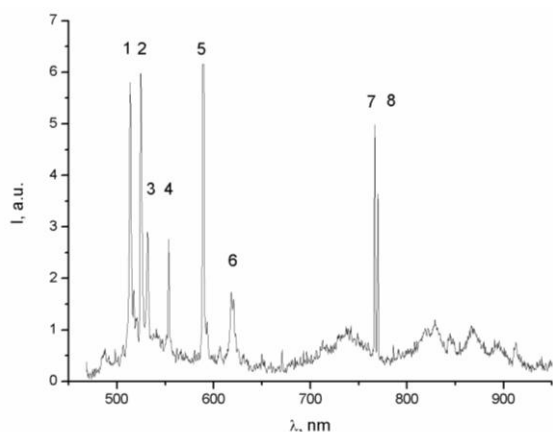


Рис. 2. Спектры взрывного свечения ФТДО с добавлением  $BaCl_2$ .

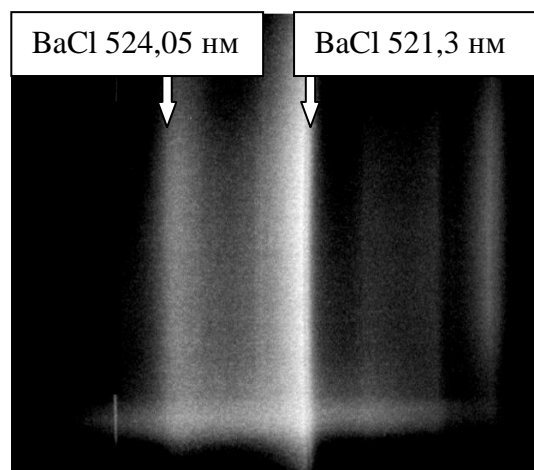


Рис. 3. Спектрограмма взрывного свечения ФТДО с добавлением  $BaCl_2$ , зарегистрированная на цифровую фотокамеру через монохроматор МДР-23.

Спектр взрывного свечения ФТДО с добавлением солей хлорида бария приведен на рисунке 2. На рисунке видно, что в спектре взрывного свечения наблюдаются дополнительные молекулярные и атомные линии: Ва (553,55 нм), ВаСl (513,8 нм и 524,5 нм), СаСl (620,9 нм). Подробная идентификация полученного спектра

представлена в таблице 1. Спектры взрывного свечения хлорида бария с более высоким спектральным разрешением (0,15 нм) были зарегистрированы на цифровую камеру через монохроматор МДР-23 (рис. 3). Для идентификации молекулярных спектров применялись литературные данные [11-13].

На рисунке 4 приведен спектр взрывного свечения ФТДО с добавлением хлорида стронция. Идентификация полученного спектра представлена в таблице 2. Видно, что в спектре взрыва присутствуют атомы примесей, входящих в состав ФТДО и спектр молекул, образующихся при взрывном испарении  $\text{SrCl}_2$ .

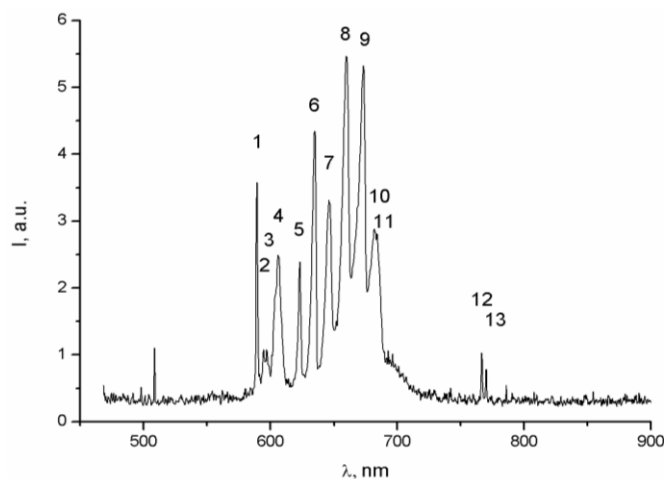


Рис. 4. Спектр взрывного свечения ФТДО с добавлением  $\text{SrCl}_2$

Данные проведенных экспериментов демонстрируют возможность применения ВВ как источника возбуждения спектров в АЭСА и молекулярном спектральном анализе.

Главное преимущество применения ВВ в спектральном анализе – возможность определения элементного состава взрывчатых веществ, а также других конденсированных материалов. Регистрация примесей щелочных металлов в спектре свечения ФТДО свидетельствует о высокой чувствительности разработанной методики.

Таблица 1. Расшифровка основных линий спектра взрывного свечения ФТДО с добавлением  $\text{BaCl}_2$ .

№	Длина волны, нм	Литературные данные, нм
1	513,7	$\text{BaCl}$ 513,8 [11]
2	524,8	$\text{BaCl}$ 524,05 [11]
3	531,8	$\text{BaCl}$ 532,08 [13]
4	553,7	$\text{Ba}$ 553,55 [11]
5	589,4	$\text{Na}$ 589,593 [11]
6	620,9	$\text{CaCl}$ 620,1 [11]
7	766,5	$\text{K}$ 766,491[11]
8	769,9	$\text{K}$ 769,989[11]

Таблица 2. Расшифровка основных линий спектра взрывного свечения ФТДО с добавлением SrCl<sub>2</sub>.

№	Длина волны, нм	Литературные данные, нм
1	589,4	Na 589,593 [11]
2	594,4	CaCl 593,4 [11]
3	597,1	–
4	605,8	SrO 606,84 [12]
5	623,4	SrCl 623,9 [13]
6	635,1	SrCl 635,8 [13]
7	646,0	SrOH 646 [13]
8	659,7	SrOH 659 [13]
9	673,1	–
10	681,7	SrOH 682 [13]
11	684,0	SrJ 684,77 [11]
12	766,5	K 766,491[11]
13	769,9	K 769,989 [11]

**Список литературы:**

1. Гарифзянов А.Р. Эмиссионная фотометрия пламени и атомно-абсорбционная спектроскопия. – Казань. КГУ, 2009. – С.94.
2. Путьмаков А.Н., Аношин Г.Н. Современный атомно-эмиссионный спектральный анализ и его применение в геологии, геохимии и вулканологии: новые достижения, перспективы, приборы. // Материалы Всеросс. конф., посвященной 75-летию Камчатской вулканологической станции – Петропавловск-Камчатский, 2008 – С. 20.
3. Буянова Е.С., Оптические методы анализа объектов окружающей среды и пищевых продуктов. – Екатеринбург, 2008 – С. 73.
4. Буланов С.С., Есиев Р.У. и др., Взрывные плазменно-вихревые источники оптического излучения // Журнал технической физики. – 2010. – Т. 80. № 11.
5. Киселев В.Г., Грицан Н.П., Зарко В. Е. и др. Многоуровневое квантовое химическое вычисление энтальпии в образовании [1,2,5]oxadiazolo[3,4-e][1,2,3,4]-tetrazine-4,6-di-Ndioxide // Физика горения и взрыва. – 2007. – Т. 43. – № 5. – С. 77–81.
6. Олешко В.И., Зарко В.Е. и др. Инициирование взрыва фуразанотетразиндиоксида сильноточным электронным пучком // Письма в ЖТФ. – 2015. – Т. 41. – № 11 – С. 10–15.
8. Олешко В.И., Лисицын В.М. и др. Электрический пробой и взрывное разложение монокристаллов тетранитрата пентаэритрита при облучении электронным пучком // Письма в ЖТФ. – 2012. – Т. 38. – № 9. – С. 37–43.
9. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника.М.: Наука, 2004. – 704 с.
10. Олешко В.И., Зарко В.Е., Лысык В.В. и др. // Забабахинские научные чтения: сборник материалов XII Международной конференции. 2–6 июня 2014 г. Снежинск: Изд-во РФЯЦ-ВНИИТФ, 2014. – С. 106.
11. Pearse R.W.B., Gaydon A.G. The identification of molecular spectra, London 1941.
12. Xianglei Mao, Alexander A. Bol'shakov Laser Ablation Molecular Isotopic Spectrometry: Strontium and its isotopes. Elsevier B.V. 2011.
13. M.S. Russell. The Chemistry of Fireworks, 2nd Edition // The Royal Society of Chemistry. – 2009. – С. 10–15.