

**Плотников С.В.<sup>1</sup>, Олешко В.И.<sup>2</sup>, Турлыбекұлы А.<sup>1\*</sup>, Манапбаева А.Б.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д.Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

<sup>2</sup>Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

<sup>3</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан  
\*e-mail: aturlybekuly@gmail.com

## **СПЕКТРОСКОПИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭНЕРГИИ ВЗРЫВА**

Для целей геохимии и экологических исследований вызывают интерес установки, позволяющие проводить элементный анализ непосредственно твердой фазы. Современные приборы, использующие индуктивно-связанную плазму для эмиссионной спектроскопии и для масс-спектрометрии – предназначены для анализа растворов и имеют существенные ограничения по концентрации примесей. Растворение геологических проб достаточно трудоемкий и сложный процесс из-за широкого разнообразия состава и большого количества анализируемых элементов, которые интересуют геохимиков. В данной статье изучена возможность применения энергии взрыва конденсированных взрывчатых веществ в аналитической спектроскопии твердых тел. Для атомизации и возбуждения эмиссионных спектров твердых тел ( $Al_2O_3$ ) применялись прессованные порошки фуразанотетразиндиоксида (ФТДО,  $C_2N_6O_3$ ). Инициирование взрыва проводилось воздействием сильноточного электронного пучка. В спектрах плазмы взрыва идентифицированы атомы примесей, входящих в состав ФТДО, а также атомы и молекулы, образующиеся при испарении  $Al_2O_3$ . Главное преимущество применения ВВ в спектральном анализе – экспрессность метода, 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.

**Ключевые слова:** взрывной источник света, аналитическая спектроскопия, спектры взрывного свечения

Plotnikov S.V.<sup>1</sup>, Oleshko V.I.<sup>2</sup>, Turlybekuly A.<sup>1\*</sup>, Manapbaeva A.B.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>D. Serikbayev East Kazakhstan state technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

<sup>2</sup>Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

<sup>3</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: aturlybekuly@gmail.com

### **Solids spectroscopy with applying explosion energy**

For the purposes of geochemistry and environmental studies, it is interest to establish systems that allow the elemental analysis of the solid phase itself. Modern instruments using inductively coupled plasma for emission spectrometry and for mass spectrometry are designed for analysis of solutions and have significant limitations on the concentration of impurities. Dissolution process of geological samples is a laborious and complex process due to the wide variety of composition and the large number of analyzed elements that geochemists are interested in. The possibility of using the explosion energy of condensed explosives in solids analytical spectroscopy was investigated. For the atomization and excitation, emission spectra of solids ( $Al_2O_3$ ) were used pressed powders of furazanotetrazinedioxide (FTDO,  $C_2N_6O_3$ ). Initiation of the explosion was induced by the influence of high-current electron beam. The impurity atoms that are the part of FTDO, as well as atoms and molecules formed by the evaporation of  $Al_2O_3$  were identified in the spectra of explosion plasma.

**Key words:** explosive light source, analytical spectroscopy, luminescence spectra of explosive

Плотников С.В.<sup>1</sup>, Олешко В.И.<sup>2</sup>, Тұрлыбекұлы А.<sup>1\*</sup>, Манапбаева А.Б.<sup>3</sup><sup>1</sup>Д. Серікбаев ат. Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан<sup>2</sup>Томск политехникалық университеті, Алматы қ., Қазақстан<sup>3</sup>Әл-Фараби ат. Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

\*e-mail: aturlybekuly@gmail.com

**Жарылыс энергиясын қолданылуымен қатты денелердің спектроскопиясы**

Геохимия және экологиялық зерттеулер мақсаттары үшін тікелей қатты фазадан элементтік талдау жасауға мүмкіндік беретін қондырғылар қызығушылық тудырады. Эмиссионды спектроскопия және масс-спектрометрия үшін индуктивті қосарланған плазманы пайдаланылатын заманауи құралдардан элементтік талдау алу арнайы ерітінді қоспалар қолданылады, бұл әдістің айтарлықтай шектеулері бар. Геологиялық үлгілерді даярлау сарапталатын элементтердің алуан түрлігіне байланысты ұзақ және күрделі процесс болып табылады. Бұл жұмыста ықшамдалған жарылыс энергиясын қатты денелердің аналитикалық спектроскопиясында пайдалану мүмкіндігі зерттелген. Қатты денелерді ( $Al_2O_3$ ) атомдық күйге келтіру және сәуле спектрін қоздыру үшін фуразанотетразиндиоксидтің (ФТДО,  $C_2N_6O_3$ ) пресстелген ұнтағы пайдаланылды. Жоғары тоқты электрондық шоғыржарылғыштың жарылысын инициациясы үшін қолданылды. Жарылыс плазма спектрінде ФТДО қоспалары, сондай-ақ,  $Al_2O_3$  – тің атомдары мен молекулалары анықталған.

**Түйін сөздер:** сәуленің жарылғыш көзі, аналитикалық спектроскопия, жарылыс плазма спектрлері.

**Введение**

В настоящее время атомный спектральный анализ применяется в различных областях естествознания и производственной деятельности человека, позволяет быстро и точно устанавливать состав вещества. Переводить вещество в газообразное состояние можно путем воздействия на твердое вещество мощных направленных концентрированных потоков энергии (МНКПЭ) к которым следует отнести лазерное излучение и сильноточные электронные пучки [1-3]. При таком воздействии достигается мгновенное испарение любого вещества и одновременное поступление в аналитический плазменный факел всех элементов, входящих в состав пробы независимо от их летучести.

В этом аспекте интерес представляют и взрывные источники излучения (ВИИ) на основе детонации конденсированных взрывчатых веществ (ВВ). Высокое удельное энергосодержание ВВ (~ 5 кДж/г) и малое время его выделения позволяет получать высокие уровни удельной тепловой мощности и обеспечить нагрев любого вещества до десятков тысяч градусов. При этом все вещества переходят в плазменное состояние и испускают мощное оптическое излучение. В работах [4-5] показана возможность получения долгоживущих плазменных образований с полным выходом оптического излучения на уровне нескольких процентов от запасаемой химической энергии ВВ.

Что касается возможностей применения ВИИ в аналитической спектроскопии вещества,

то таких исследований, насколько нам известно, не проводились.

Цель данной работы – изучить возможность применения взрывных источников излучения на основе детонации конденсированных ВВ в атомной и молекулярной спектроскопии.

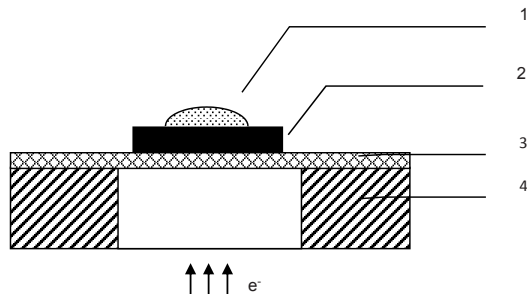
**Экспериментальная часть**

В качестве исследуемых проб использовался порошок  $Al_2O_3$ . Для атомизации и возбуждения эмиссионных спектров применялись пресованные порошки фуразанотетразиндиоксида ( $C_2N_6O_3$ , ФТДО) в виде таблеток толщиной 400 мкм и диаметром 3 мм, полученные прессованием под давлением  $10^9$  Па [2]. Иницирование взрыва производилось воздействием сильноточного электронного пучка (СЭП). Методы и процессы взрывного разложения использованных ВВ с помощью СЭП подробно описаны в работах [1-3]. Для демонстрации возможности применения ВВ как источника возбуждения спектров на таблетку ФТДО помещалась исследуемая проба.

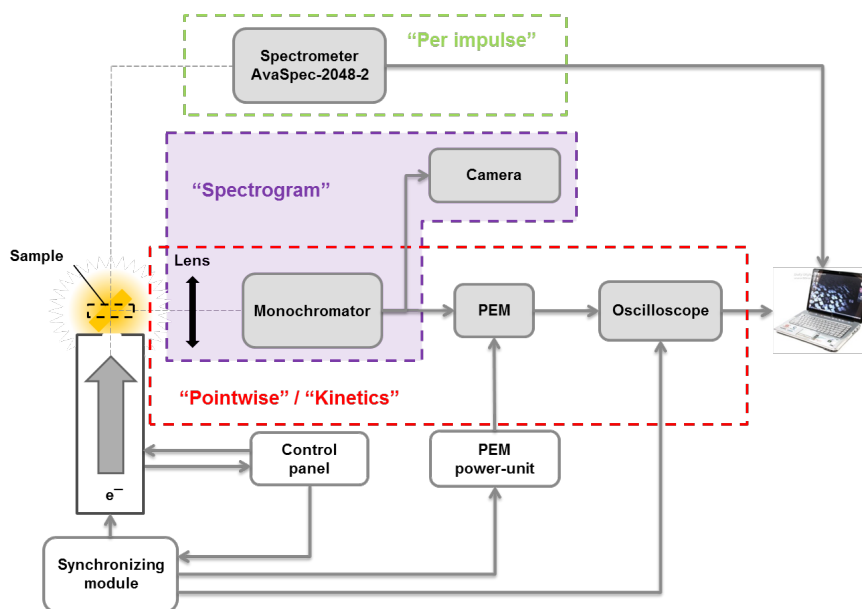
Источником иницирования взрыва ВВ являлся СЭП, генерируемый с помощью импульсного ускорителя электронов на основе ГИН-600 конструкции Г.А. Месяца и Б.М. Ковальчука. Регистрация эмиссионных спектров производилась с помощью оптоволоконного интегрального спектрометра AvaSpec Dual, спектральный диапазон измерений составлял 200- 480 и 480–980 нм, спектральное разрешение  $\approx 1,5$  нм.

Спектры высокого разрешения до 0,1 нм, регистрировались на фотоаппарат SONY, установленный вместо выходной щели моно-

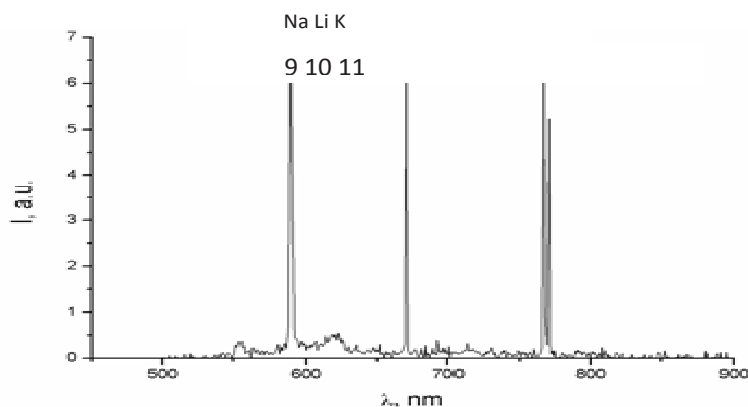
хроматора МДР-23, спектральный диапазон измерений этого метода составлял 400–700 нм, ширина получаемых спектрограмм – 25 нм.



**Рисунок 1** – Схема инициирования ФТДО электронным пучком:  
1 – образец, 2 – таблетка ФТДО, 3 –алюминиевая фольга 10 μm, 4 – анод



**Рисунок 2** – Схема экспериментальной установки



**Рисунок 3** – Спектр взрывного свечения прессованных образцов ФТДО

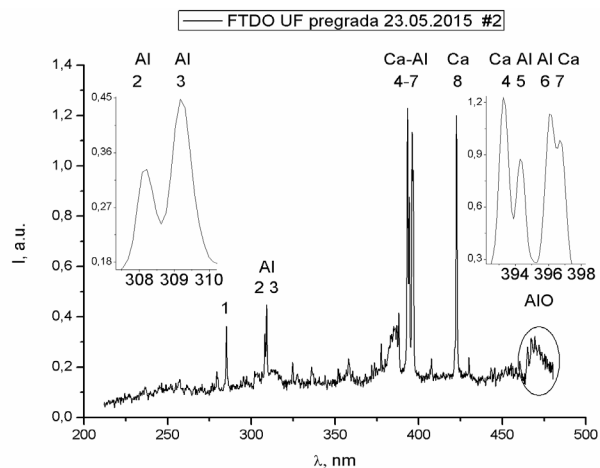
## Результаты и обсуждение

Предварительно были изучены спектры плазмы взрыва «чистых» образцов ФТДО. На рисунке 3 приведены атомно-эмиссионные спектры взрыва. Видно, что на фоне малоинтенсивного 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. Согласно исследованиям [3] линий щелочных металлов (Na, Li, K), обнаруженные в плазме взрыва ФТДО, свидетельствует о вхождении примесей в состав образцов при их изготовлении. Подробная идентификация спектров представлена в таблице 1.

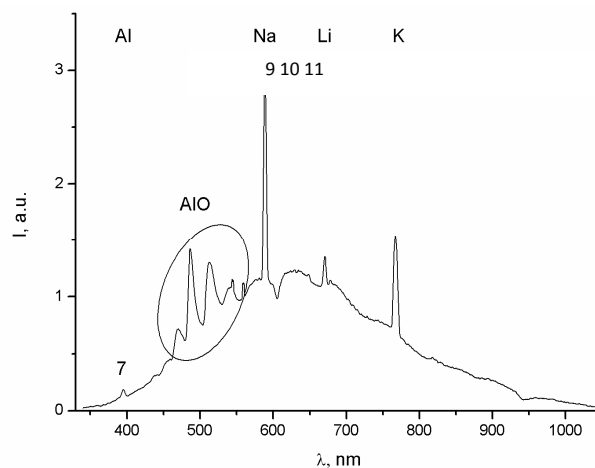
**Таблица 1** – Идентификация спектральных линий плазмы взрыва ФТДО

Номер линии	Линия в спектре, нм	Идентификация, нм
1	285,2	
2	308,15	Al I (308,21529)
3	309,2	Al I (309,28386)
4	393,24	Ca I (393,37)
5	394,35	Al I (394,40005)
6	396,10	Al I (396,15200)
7	396,76	Ca I (396,85)
8	422,56	Ca I (422,673)
	446,65 – 465,0 467,43 – 473,26	AlO(447,05 -464,82) AlO (467,20 – 473,55)
	483,90– 489,03 507,5– 540,84	AlO (484,21 – 488,84) AlO(507,93 – 541,05)
9	590,2	Na I (588,99) Na I (589,59)
10	670,9	Li I (670,776) Li I (670,791)
11	766,4 769,9	K I (766,4899) K I (769,8964)

Спектр взрывного свечения ФТДО с добавлением порошка  $Al_2O_3$  приведен на рисунках 4 и 5. В спектрах взрывного свечения четко установлены и идентифицированы атомные линии алюминия (линии 2 и 3 см.рис.4) и серии линий принадлежащих молекуле AlO (см.рис.5). Подробная идентификация спектров представлена в таблице 1.



**Рисунок 4** – Спектр взрывного свечения прессованных образцов ФТДО с добавлением порошка  $Al_2O_3$



**Рисунок 5** – Спектр взрывного свечения прессованных образцов ФТДО с добавлением порошка  $Al_2O_3$

В спектрах взрывного свечения, также идентифицированы атомарные линии кальция. Поскольку кальций является основным «загрязнителем» поверхности металлов, предполагается, что данный элемент вносится в плазменный факел взрыва с поверхности анода. Люминесценция атомов, ионов и молекул азота в условиях эксперимента не обнаружена.

## Заключение

Продемонстрирована возможность применения ВВ (на примере ФТДО с добавлением порошка  $Al_2O_3$ ), как источника возбуждения спектров в АЭСА и молекулярном спектральном анализе.

Регистрация примесей щелочных металлов в спектре свечения ФТДО свидетельствует

ет о высокой чувствительности разработанной методики. Главное преимущество применения ВВ в спектральном анализе – возможность

определения элементного состава взрывчатых веществ, а также других конденсированных материалов.

#### Литература

- 1 Олешко В.И. Спектральный элементный анализ с использованием мощных электронных пучков : учебное пособие. — Томск: Изд-во ТПУ, 2012. — 96 с.
- 2 Oleshko V.I., Zarko V.E., Lysyk V.V., Tsipilev V.P. and Kalmykov P.I. Explosion initiation of furazanotetrazine dioxide by a high-current electron beam // *Technical Physics Letters*. – 2015. – Vol. 41(6). – P.519–521.
- 3 Oleshko V.I., Vil'chinskaya S.S., Kupchishin A.I., Gorina S.G. Luminescence of Zinc Selenide Crystals Excited by Electron Beam Pulse // *Известия вузов. Физика*. – 2012. – Т.55, № 11-3. – С.147-150.
- 4 Буланов С.С., Есиев Р.У., Камруков А.С., Козлов Н.П., Морозов М.И., Росляков И.А. Взрывные плазменно-вихревые источники оптического излучения // *Журнал технической физики*. – 2010. – Т. 80, вып. 11. – С.87-94.
- 5 Юсупалиев У., Юсупалиев П.У., Шутеев С.А. Импульсное осесимметричное истечение плотной плазмы в газовую среду. 2. Условия образования и устойчивость плазменного тороидального вихря // *Журнал технической физики*. – 2007. – Т.77, вып.7. – С.50-62.

#### References

- 1 V.I. Oleshko, *Spektral'nyy elementnyy analiz s ispol'zovaniyem moshchnykh elektronnykh puchkov: uchebnoye posobiye*б (Tomsk: Izd-vo TPU, 2012, 96 p.) (in russ).
- 2 V.I. Oleshko, V.E. Zarko, V.V. Lysyk, V.P. Tsipilev P.I., *Technical Physics Letters*, 41(6), 519–521, (2015). (in russ).
- 3 V.I. Oleshko, S.S. Vil'chinskaya, A.I. Kupchishin, S.G. Gorina, *Izvestiya vuzov. Fizika*, 55(11-3), 147-150, (2012). (in russ).
- 4 S.S. Bulanov, R.U. Yesiyev, A.S. Kamrukov, N.P. Kozlov, M.I. Morozov, I.A. Roslyakov, *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*, 80(11), 87-94, (2010). (in russ).
- 5 U. Yusupaliyev, P.U. Yusupaliyev, S.A. Shuteyev, *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*, 77(7), 62, (2007). (in russ).