

ISSN (Print) 2616-6836

ISSN (Online) 2663-1296

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

# ХАБАРШЫСЫ

---

---

## BULLETIN

of L.N. Gumilyov Eurasian  
National University

## ВЕСТНИК

Евразийского национального  
университета имени Л.Н. Гумилева

**ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы**

**PHYSICS. ASTRONOMY Series**

**Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

**2(143)/ 2023**

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Астана, 2023

Astana, 2023

*Бас редакторы Жумадилов К.Ш.*  
*PhD, проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан*  
*Бас редактордың орынбасары Абуова Ф.У.*  
*PhD, доц., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан*

**Редакция алқасы**

<b>Ержанов Қ.Қ.</b>	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
<b>Кайнарбай А.Ж.</b>	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
<b>Козловский А.Л.</b>	PhD, Ядролық физика институты, Астана, Қазақстан
<b>Морзабаев А.К.</b>	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
<b>Салиходжа Ж.М.</b>	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
<b>Усеинов А.Б.</b>	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
<b>Джансейтов Д.М.</b>	PhD, Ядролық физика институты, Астана, Қазақстан
<b>Шункеев К.Ш.</b>	ф.-м.ғ.д., Қ.Жұбанов ат. АӨУ, Ақтөбе, Қазақстан
<b>Исадыков А.Н.</b>	PhD, Біріккен ядролық зерттеулер институты, Дубна, Ресей
<b>Шарафуллин И.Ф.</b>	ф.-м.ғ.д., Башқұрт мемлекеттік университеті, Уфа, Ресей
<b>Сакута С.Б.</b>	ф.-м.ғ.д., Ұлттық зерттеу институты Курчатов институты, Мәскеу, Ресей
<b>Лущик А.Ч.</b>	ф.-м.ғ.д., Тарту университеті, Тарту, Эстония
<b>Попов А.И.</b>	ф.-м.ғ.д., Латвия университеті, Рига, Латвия
<b>Хоши М.</b>	PhD, Хиросима Университеті, Хиросима, Жапония
<b>Тойода Ш.</b>	PhD, Окаяма Ғылым Университеті, Окаяма, Жапония
<b>Ертүрк С.</b>	PhD, Нийде Университеті, Нийде, Түркия
<b>Килин Д.</b>	PhD, Солтүстік Дакота мемлекеттік университеті, Фарго, АҚШ
<b>Юлун Хан</b>	PhD, Солтүстік Дакота мемлекеттік университеті, Фарго, АҚШ

Редакцияның мекен жайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Сәтбаев к-сі, 2  
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 402 б.  
Тел: +7 (7172) 709-500 (ішкі 31-315). E-mail: [vest\\_phys@enu.kz](mailto:vest_phys@enu.kz)

**Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы**  
**ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы**

Меншіктенуші: КеАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті»

Мерзімділігі: жылына 4 рет

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігімен тіркелген  
02.02.2021ж. № KZ66VPY00031918 қайта есепке қою туралы куәлігі

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Қажымұқан к-сі 13/1

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Тел: +7 (7172)709-500 (ішкі 31-315). Сайт: <http://bulphysast.enu.kz>

*Editor-in-Chief* **K. Zhumadilov**

*PhD, Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

*Deputy Editor-in-Chief* **F. Abuova**

*PhD, Ass. Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

#### ***Editorial board***

<b>K. Yerzhanov</b>	PhD, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
<b>A. Qainarbai</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
<b>A. Kozlovskiy</b>	PhD, Institute of Nuclear Physics», Astana, Kazakhstan
<b>A. Morzabaev</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
<b>Zh. Salikhodzha</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
<b>A. Useinov</b>	PhD, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
<b>D. Dzhanseytov</b>	PhD, Institute of Nuclear Physics», Astana, Kazakhstan
<b>K. Shunkeyev</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, K. Zhubanov University, Aktobe, Kazakhstan
<b>A. Isadykov</b>	PhD, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia
<b>I. Sharafullin</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Bashkir State University, Ufa, Russia
<b>S. Sakuta</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Kurchatov Institute, Moscow, Russia
<b>A. Lushchik</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, University of Tartu, Tartu, Estonia
<b>A. Popov</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences., University of Latvia, Riga, Latvia
<b>M. Hoshi</b>	PhD, Hiroshima University, Hiroshima, Japan
<b>Sh. Toyoda</b>	PhD, Okayama University of Science, Okayama, Japan
<b>S. Yerturk</b>	PhD, Niğde Ömer Halisdemir University, Niğde, Türkiye
<b>Dmitri Kilin</b>	PhD, North Dakota State University, Fargo, USA
<b>Yulun Han</b>	PhD, North Dakota State University, Fargo, USA

Editorial address: 2, Satpayev str., of. 402

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 010008

Tel.: +7 (7172) 709-500 (ext. 31-315), E-mail: [vest\\_phys@enu.kz](mailto:vest_phys@enu.kz)

#### **Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University**

##### **PHYSICS. ASTRONOMY Series**

Owner: Non-profit joint-stock company «L.N. Gumilyov Eurasian National University»

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan

Rediscount certificate № KZ66VPY00031918 from 02.02.2021

Address of Printing Office: 13/1 Kazhimukan str., Astana, Kazakhstan 010008

L.N. Gumilyov Eurasian National University

Tel: +7 (7172) 709-500 (ext.31-315). Website: <http://bulphysast.enu.kz>

*Главный редактор **Жумадилов К.Ш.**  
PhD, проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан  
Зам. главного редактора **Абуова Ф.У.**  
PhD, доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*

**Редакционная коллегия**

<b>Ержанов К.К.</b>	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
<b>Кайнарбай А.Ж.</b>	к.ф.-м.н., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
<b>Козловский А.Л.</b>	PhD, РГП «Институт ядерной физики», Астана, Казахстан
<b>Морзабаев А.К.</b>	к.ф.-м.н., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
<b>Салиходжа Ж.М.</b>	к.ф.-м.н., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
<b>Усеинов А.Б.</b>	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
<b>Джансейтов Д.М.</b>	PhD, РГП «Институт ядерной физики», Астана, Казахстан
<b>Шункеев К.Ш.</b>	д.ф.-м.н., Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, Актобе, Казахстан
<b>Исадыков А.Н.</b>	PhD, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия
<b>Шарафуллин И.Ф.</b>	д.ф.-м.н., Башкирский государственный университет, Уфа, Россия
<b>Сакута С.Б.</b>	д.ф.-м.н., Национальный исследовательский институт Курчатовский институт, Москва, Россия
<b>Лущик А.Ч.</b>	д.ф.-м.н., Тартуский университет, Тарту, Эстония
<b>Попов А.И.</b>	д.ф.-м.н., Латвийский университет, Рига, Латвия
<b>Хоши М.</b>	PhD, Университет Хиросимы, Хиросима, Япония
<b>Тойода Ш.</b>	PhD, Университет Науки Окаямы, Окаяма, Япония
<b>Ертурк С.</b>	PhD, Университет Нийде, Нийде, Турция
<b>Килин Д.</b>	PhD, Государственный университет Северной Дакоты, Фарго, США
<b>Юлун Хан</b>	PhD, Государственный университет Северной Дакоты, Фарго, США

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2  
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, каб. 402  
Тел: +7(7172) 709-500 (вн. 31-315). E-mail: [vest\\_phys@enu.kz](mailto:vest_phys@enu.kz)

**Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева  
Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

Собственник: НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»  
Периодичность: 4 раза в год  
Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан  
Свидетельство о постановке на переучет № KZ66VPY00031918 от 02.02.2021 г.  
Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Кажымукана, 13/1,  
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева  
Тел.: +7(7172)709-500 (вн.31-315). Сайт: <http://bulphysast.enu.kz>

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ  
ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ СЕРИЯСЫ

ВЕСТНИК ЕВРАЗИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ИМЕНИ Л.Н.ГУМИЛЕВА. СЕРИЯ ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

BULLETIN OF L.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY  
PHYSICS. ASTRONOMY SERIES

№ 2(143)/2023

### МАЗМҰНЫ/ CONTENTS/ СОДЕРЖАНИЕ

- А. Жасұлан, Б. Рахадитов, Д. Байжан, А. Шынарбек, К. Орманбеков.** Титанның микродоғалық тотығуы кезінде жабындардың түзілу процесін зерттеу  
**A. Zhassulan, B. Rakhadilov, D. Baizhan, A. Shynarbek, K. Ormanbekov.** Investigation of the process of coating formation during microarc oxidation of titanium  
**А. Жасулан, Б. Рахадитов, Д. Байжан, А. Шынарбек, К. Орманбеков.** Исследование процесса формирования покрытий при микродуговом окислении титана 6
- К. Онокүлов, А. Зокиров.** Кадмий галогенидтерінен қалыптан тыс фотоэлектрлік әсері бар пленкаларды алу технологиясы және микрофотозэлементтердің табиғаты туралы  
**K. Onorkulov, A. Zokirov.** Technology for obtaining anomalous photovoltaic effect films from cadmium halides and on the nature of Microphotocells  
**К.Е. Онокүлов, А.И. Зокиров.** Технология получения пленок с аномальным фотоэлектрическим эффектом из галогенидов кадмия и о природе микрофотозэлементов 16
- Н. Амангелді, Д. Солдатхан, Д. Шәудірбаева, А. Әнуар, Л. Қасымханова.**  $\alpha$ - бөлшектердің  ${}^9\text{Be}$  ядросымен соқтығысу кезіндегі серпінді шашырауының жаһандық заңдылықтары  
**N. Amangeldi, D. Soldatkhan, D. Shaudirbayeva, A. Anuar, L. Kasymkhanova.** Global patterns of elastic scattering in the collision of  $\alpha$  - particles with a  ${}^9\text{Be}$  nucleus  
**Н. Амангельды, Д. Солдатхан, Д. Шаудирбаева, А. Ануар, Л. Қасымханова.** Глобальные закономерности упругого рассеяния при столкновении  $\alpha$ -частиц с ядром  ${}^9\text{Be}$  24
- Б. Абдуалиев, Б. Сатанова, Ф. Абуова, Г. Аралбаева.** Табиғи модифицирленген сорбенттерді қолдана отырып, техногендік және гидроминералды шикізаттан уран алудың сорбциялық технологиясы  
**B. Abdualiyeu, B. Satanova, F. Abuova, G. Aralbayeva.** Sorption technology for obtaining uranium from technogenic and hydromineral raw materials using natural modified sorbents  
**Б. Абдуалиев, Б. Сатанова, Ф. Абуова, Г. Аралбаева.** Сорбционная технология получения урана из техногенного и гидроминерального сырья с применением природных модифицированных сорбентов 36



МРНТИ 55.22.23

А.Ж. Жасулан<sup>1\*</sup>, Б.К. Рахадиллов<sup>2</sup>, Д.Р. Байжан<sup>1</sup>,  
А.Б. Шынарбек<sup>1</sup>, К.Д. Орманбеков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей, Семей, Казахстан

<sup>2</sup>ТОО «PlasmaScience», Усть-Каменогорск, Казахстан

(E-mail: \*ainur.99.99@mail.ru)

## Исследование процесса формирования покрытий при микродуговом оксидировании титана

**Аннотация.** В работе исследованы структурно-фазовые состояния покрытий, сформированных на поверхности титана методом микродугового оксидирования (МДО). В ходе исследования были проведены серии экспериментов с варьированием параметров процесса и состава электролита. С использованием различных аналитических методов, включая электронную микроскопию и рентгеновскую дифракцию, были проанализированы морфологические и структурные изменения покрытий. Микродуговое оксидирование титана проводилось в анодном потенциостатическом режиме в течение 10 минут в различных электролитах на основе фосфорной кислоты, ортофосфата натрия, гидроксида калия и гидроксиапатита. После МДО микрогеометрия поверхности не меняется, т.е. на поверхности титана формируется тонкое покрытие толщиной 5-7 мкм. Результаты исследования поверхности покрытий методом сканирующей электронной микроскопии показали, что наиболее пористой поверхностью из всех исследуемых покрытий обладают покрытия, сформированные в электролите с добавлением гидроксида калия (КОН). Результаты рентгеновской дифракции показали, что анатаз и рутил являются основной фазой в покрытиях. Состав электролита является одним из определяющих факторов процесса МДО и имеет решающее значение для применения МДО. Результаты исследования позволяют получить глубокое понимание процесса формирования покрытий при микродуговом оксидировании титана.

**Ключевые слова:** микродуговое оксидирование, кальций-фосфатное покрытие, физико-механические свойства, электролит.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-6836-2023-143-2-6-15](https://doi.org/10.32523/2616-6836-2023-143-2-6-15)

### 1. Введение

Микродуговое оксидирование (МДО) – сравнительно новый способ электрохимической обработки поверхности преимущественно металлических материалов, берущий свое начало от традиционного анодирования. Исследование процесса формирования

покрытий при микродуговом оксидировании титана является важным направлением в области поверхностной модификации материалов. Титан и его сплавы широко применяются в различных отраслях, включая аэрокосмическую, авиационную, медицинскую и энергетическую промышленности, благодаря их высокой прочности, легкости и химической стойкости. При микродуговом оксидировании титана происходит образование тонких оксидных покрытий на его поверхности. Эти покрытия обладают рядом полезных свойств, таких, как улучшенная коррозионная стойкость, трибологическая устойчивость, а также возможность изменения их структуры и химического состава. Однако процесс формирования этих покрытий является сложным и требует детального исследования. МДО позволяет формировать многофункциональные оксидокерамические покрытия, которые значительно повышают прочностные и защитные свойства рабочих поверхностей деталей.

Технологию МДО используют главным образом для формирования оксидно-керамических покрытий на поверхности сплавов на основе титана, магния, тантала и алюминия [1-3]. Получение оксидно-керамических покрытий методом стремительно развивающегося в последние годы МДО позволяет получать композиционные материалы, которые обладают более высокими механико-трибологическими свойствами [4,5]. Сплавы титана обладают низким сопротивлением к износу, но широко используются в автомобильной, химической и биомедицинской отраслях промышленности, что увеличивает сферы применения метода МДО [6-9]. Анализ современных представлений о механизме роста оксидно-керамических МДО-покрытий позволил сделать вывод, что структура и свойства покрытий зависит от нескольких параметров [10]. Основными параметрами, влияющими на структуру и свойства покрытий, является состав электролита. Технологическими факторами, влияющими на свойства покрытий, также могут служить параметры напряжения, тока, частоты и времени. Вследствие этого, необходимы исследования по установлению закономерностей, происходящих при формировании оксидно-керамических покрытий в зависимости от параметров процесса МДО. При микродуговом оксидировании титана в составе покрытий появляются кристаллические фазы оксида титана [17, 18]. В исследованиях было показано, что присутствие рутила и анатаза влияет на рост и морфологию оксидных покрытий на поверхности титана при микродуговом оксидировании. Рутил, благодаря своей компактной кристаллической структуре, способствует формированию плотных и гладких покрытий с высокой стойкостью к коррозии. С другой стороны, анатаз с его более открытой и пористой структурой может способствовать образованию покрытий с более большой поверхностной площадью и более высокой адгезией.

Целью данной работы было исследование влияния состава электролита на формирование структуры и свойства покрытий, полученных методом МДО на поверхности титана ВТ1-0.

## 2. Методы

Нанесение покрытий методом МДО проведено на установке Guintek «APS-77300». Устройство МДО Guintek «APS-77300» состоит из программируемого источника переменного тока, гальванической охлаждающей ванны, набора электродов и программного обеспечения для управления и контроля параметров электрофизического сжигания, а также цифрового осциллографа, позволяющего получать кинетическую зависимость в процессе. Получение МДО-покрытия проводилось в анодном потенциостатическом режиме. Рисунок 1 иллюстрирует принципиальную схему установки МДО. В качестве анода используется вентильный металл, который погружают в перемешанный электролит. В качестве электролитического элемента и катода выбран контейнер из нержавеющей стали. Электрический ток подается от источника питания МДО. Температура электролита регулируется ниже 40°C с помощью конденсированной воды. Поддержание температуры

необходимо для получения качественного оксидного слоя [11-12]. Для удержания температуры вокруг посуды с электролитом была обмотана медная трубка, подключенная к станции охлаждения sl-1500/aurora-pro/.

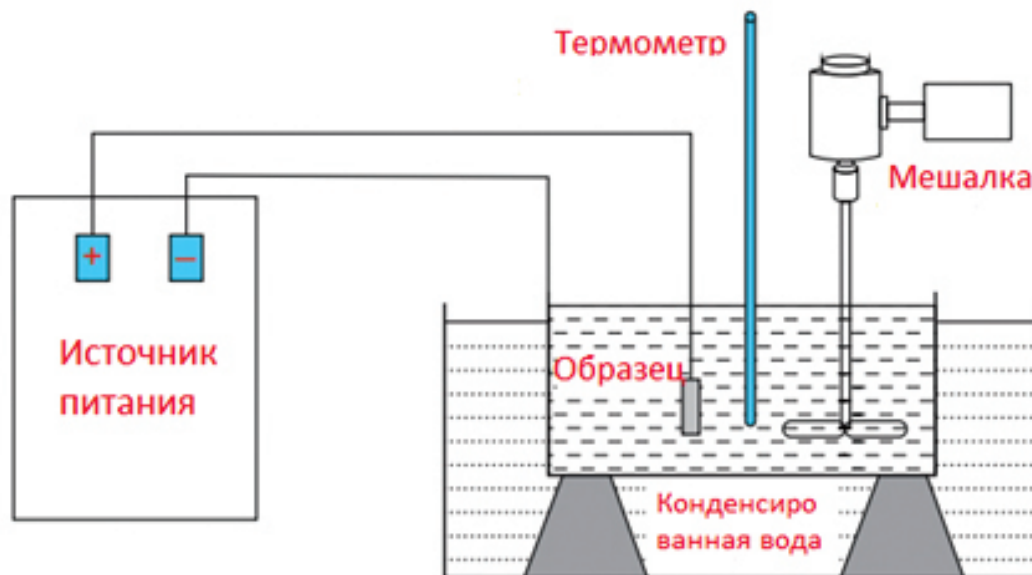


Рисунок 1. Принципиальная схема экспериментальной установки МДО

В соответствии с поставленными целями в качестве объекта исследования был выбран титан ВТ1-0. Перед МДО проведена подготовка поверхности образцов титана к нанесению покрытий (шлифовки и пескоструйная обработка). В таблице 1 приведены режимы и состав электролита для МДО титана. Химический состав электролита значительно влияет на ускорение пассивации металла и пробоя диэлектрика и, как следствие, на образование тонкой изолирующей пленки. Исходя из этого выбраны различные электролиты (фосфат натрия, гидрофосфат натрия, гидроксид калия и гидроксиапатит) для МДО титана.

Таблица 1. Состав электролита и режимы МДО титана

Состав электролита	Режимы МДО				Ток
	Частота, Гц	Напряжение, В	Время, мин	Ток, А/см <sup>2</sup>	
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (6г), гидроксиапатит (0,75г), KOH(2 г)	100	200	10	20	Переменный
Na <sub>3</sub> HPO <sub>4</sub> (5 г) и гидроксиапатит (0,5 г)	50	300	10	20	
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (5 г) и гидроксиапатит (0,5г)	200	300	10	12,6	

Морфологию поверхности рассмотрели на низковакуумном растровом электронном микроскопе JSM-6390 LVJEOL. Рентгенофазовый анализ исследуемых образцов выполнялся на дифрактометре X-pertPRO в CuKα излучении при ускоряющем напряжении 40 кВ и анодном токе 30мА. Расшифровка дифрактограмм выполнялась вручную с помощью базы данных PDWin (рисунок 2). Шероховатость покрытия измеряли с помощью профилометра модели 130.



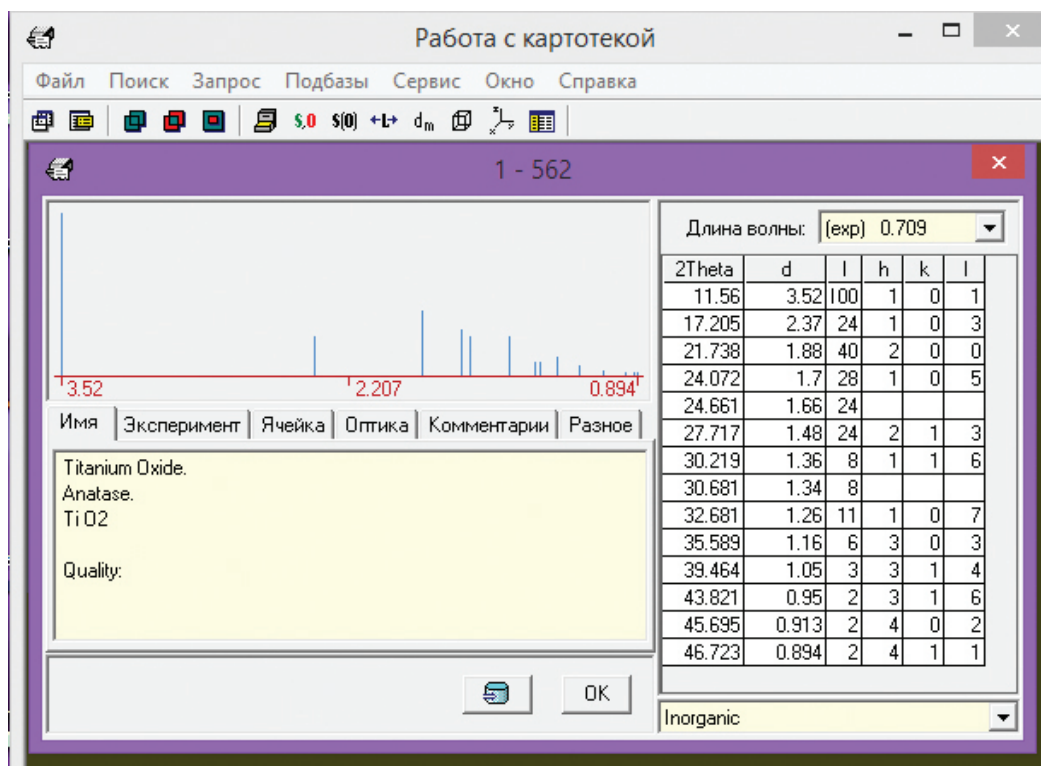
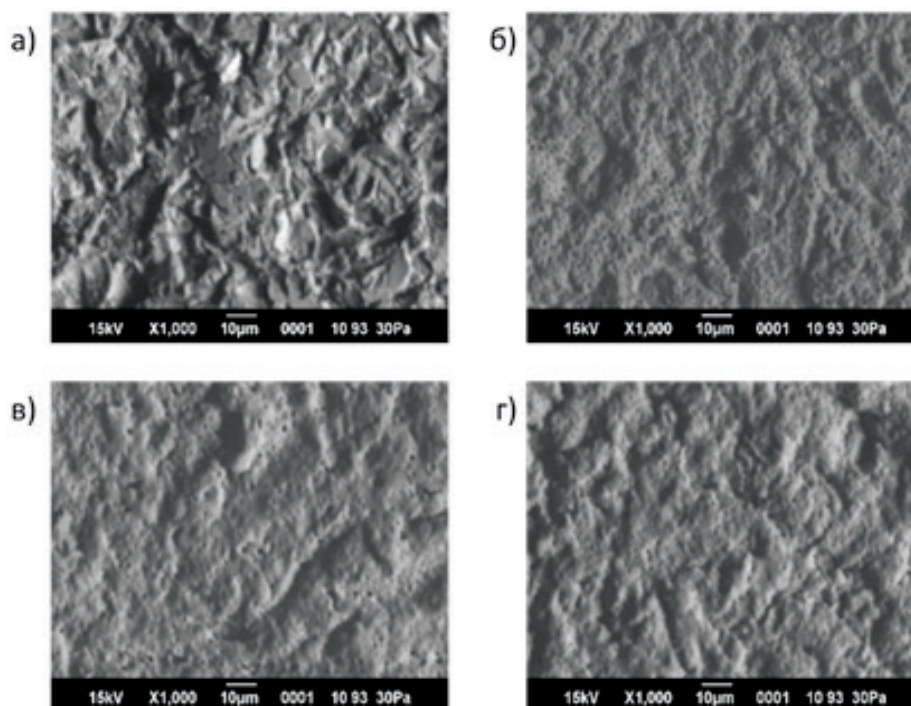


Рисунок 2. База данных порошковой дифрактометрии

### 3. Результаты и обсуждение

Морфология поверхности покрытия (размеры, количество пор, наличия трещин), сформированных методом МДО, зависит от состава электролита и субстрата (подложки). Однако для всех МДО-покрытий характерно наличие пор, которые являются каналами электрических пробоев и следствием выхода газовых пузырей на поверхность. Микроструктура МДО-покрытий имеет типичную пористую структуру (рисунок 3). В ходе этого процесса тонкий оксидный слой формируется на поверхности титана путем воздействия электрического дугового разряда. Один из главных эффектов МДО титана - это образование микрорельефа на поверхности. В начальных стадиях процесса образования покрытия наблюдается образование мелких выступов, покрытых оксидными частицами. С развитием процесса рельеф становится более выраженным и образуются микротрубочки и поры, пронизывающие покрытие. Также наблюдается появление так называемых «островков» на поверхности. Эти островки представляют собой места, где процесс оксидирования протекает более интенсивно, что приводит к формированию более плотного и толстого покрытия по сравнению с окружающей поверхностью. Морфологические изменения структуры при микродуговом оксидировании титана могут играть важную роль в определении свойств покрытий, таких, как адгезия, трибологическая устойчивость и коррозионная стойкость. Понимание этих изменений помогает оптимизировать процесс формирования покрытий и разработать материалы с желаемыми характеристиками для различных промышленных приложений.



**Рисунок 3.** Микроструктура поверхности образца до и после нанесения МДО-покрытий в различных электролитах: а) титан (исходный); б)  $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{ГА} + \text{КОН}$ ; в)  $\text{Na}_3\text{HPO}_4 + \text{ГА}$ ; г)  $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{ГА}$

Анализ изображений поверхности образцов с покрытиями, сформированными в электролитах различного состава, полученных с помощью РЭМ показал, что наиболее пористой поверхностью из всех исследуемых покрытий обладают покрытия, сформированные в электролите с добавлением гидроксида калия (КОН). Возможно добавление в электролит КОН и увеличение плотности тока способствует возрастанию интенсивности процесса газовой выделению при МДО. Стоит отметить, что для стабильности электролита необходима щелочная среда, требуемый рН которой создают обычно с помощью гидроксида калия КОН или натрия NaOH. Эксперименты по изучению влияния компонентов электролитов показали, что при концентрации КОН или NaOH в электролите менее 3 г/л приводит к увеличению энергоёмкости процесса. При содержании КОН или NaOH более 6 г/л электролит имеет высокую агрессивность, что приводит к травлению поверхности и уменьшению толщины оксидного слоя [13].

Состояние поверхностного слоя характеризуется наличием шероховатости и волнистости, которые образовались в результате пескоструйной обработки. После МДО микрогеометрия поверхности не меняется, т.е. на поверхности титана формируется тонкое покрытие толщиной 5-7 мкм. Следует отметить, что профилометрические измерения, выполненные до и после нанесения покрытия, не выявили существенного изменения шероховатости поверхности (таблица 2).

**Таблица 2.** Шероховатость поверхности образца до и после нанесения МДО-покрытий

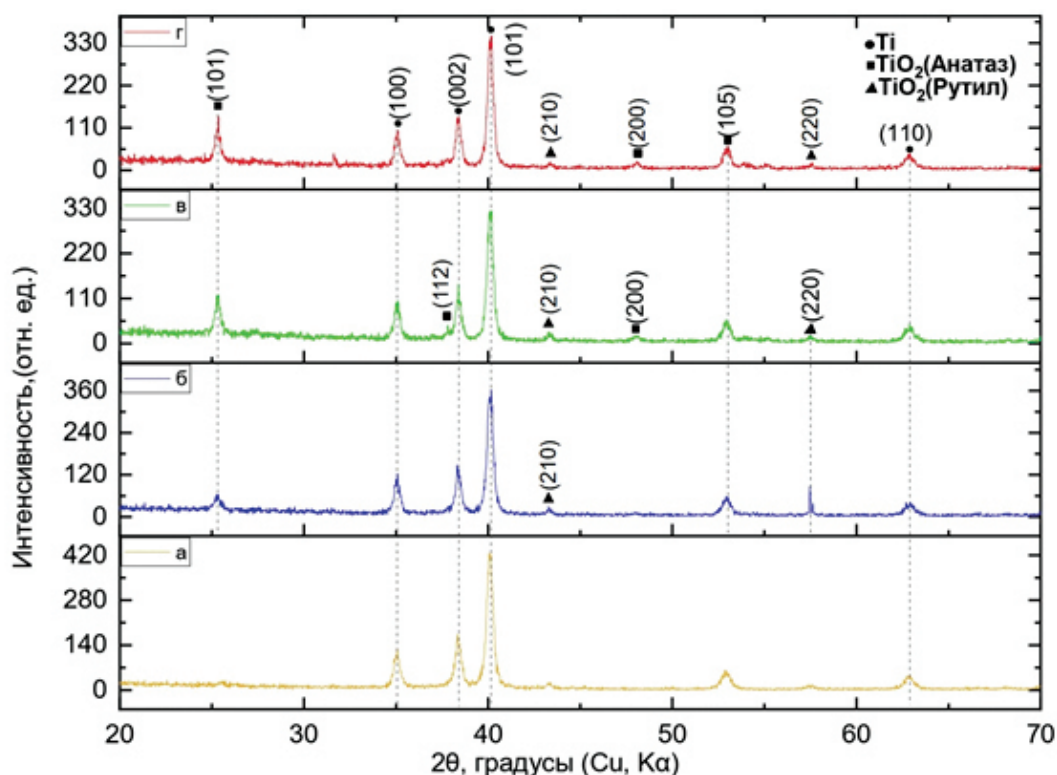
Образцы	Шероховатость $R_a$ , мкм
До нанесения покрытий	1.65±0.22
МДО-покрытие в электролите $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{КОН} + \text{ГА}$	1.57±0.32
МДО-покрытие в электролите $\text{Na}_3\text{HPO}_4 + \text{ГА}$	1.68±0.25
МДО-покрытие в электролите $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{ГА}$	1.47±0.39

На рисунке 4 показаны результаты рентгенофазового анализа МДО-покрытий, полученных в разных электролитах. На графике рентгенофазового анализа были зарегистрированы: дифракционные пики титана (от подложки) и кристаллические фазы рутила и анатаза. Анатаз, рутил и брукит являются тремя основными полиморфами оксида титана (TiO<sub>2</sub>) [14]. С увеличением приложенного напряжения и плотности тока температура повышается, и анатаз превращается в рутил при 815 °С, который является более стабильной фазой TiO<sub>2</sub> при высоких температурах [15,16]. Фазовый состав покрытий, полученных в электролите Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>+ ГА+КОН, состоит из Ti и высокотемпературной модификации диоксида титана – рутила, т.е. добавление в раствор КОН приводит к увеличению энергоемкости процесса МДО. Основная роль раствора КОН заключается в обеспечении оптимальных условий для процесса гидратации титанового диоксида и формирования рутила и анатаза. Раствор КОН может регулировать pH-значение реакционной среды, обеспечивая щелочную среду, которая способствует эффективной гидратации титанового диоксида и образованию желаемых фаз. Общая химическая формула образования рутила и анатаза при микродуговом оксидировании титана может быть представлена следующим образом:



Участие КОН в этой реакции заключается в предоставлении гидроксильных ионов (ОН<sup>-</sup>) для взаимодействия с титаном и кислородом. Гидроксидные ионы служат катализаторами окислительной реакции, способствуя образованию рутила и анатаза.

Однако стоит отметить, что реакция формирования рутила и анатаза является сложным процессом, и в ней может участвовать не только раствор КОН, но и другие факторы, такие, как температура, время реакции и концентрация реагентов. Поэтому точные условия реакции и конкретные соотношения между компонентами могут варьироваться в зависимости от конкретного эксперимента или процесса.



**Рисунок 4.** Дифрактограмма образца до и после нанесения МДО-покрытий в различных электролитах: а) титан (исходный); б) Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>+ ГА+КОН; в) Na<sub>3</sub>HPO<sub>4</sub>+ГА; г) Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>+ГА

#### 4. Выводы

Методом микродугового оксидирования на поверхности титана были получены покрытия диоксида титана  $TiO_2$  в модификации рутила и анатаза. Был исследован процесс формирования МДО покрытий в анодном режиме в течение 10 минут в различных электролитах на основе фосфорной кислоты, ортофосфата натрия, гидроксида калия и гидроксиапатита. Результаты рентгенофазового анализа не показали существенных изменений фазового состава исследуемых покрытий. Эксперименты по изучению влияния компонентов электролитов показали, что добавление в раствор КОН приводит к увеличению энергоемкости процесса и в результате образуется диоксид титана в модификации рутила, а также из-за интенсивности процесса газовой выделения образуется пористая структура покрытий. Таким образом, состав электролита является одним из определяющих факторов процесса МДО и имеет решающее значение для применения МДО. Кроме того, изменяя режимы процесса и составы электролитов при МДО можно получить покрытие с регулируемой пористостью.

Работа выполнена в рамках проекта грантового финансирования Комитета науки МНиВО РК AP13068451 «Получение многофункциональных кальций-фосфатных покрытий с наночастицами диоксида титана методом плазменно-электролитического оксидирования».

#### Список литературы

1. Владимиров Б. В. и др. Микродуговое оксидирование магниевых сплавов (обзор) // Электронная обработка материалов. – 2014. – №. 3. – С. 1-38.
2. Батышев К. А., Батышев А. И. Микродуговое оксидирование алюминиевых сплавов // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве. – 2016. – С. 212-214.
3. Нечаев Г. Г. Микродуговое оксидирование титановых сплавов в щелочных электролитах // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2012. – Т. 14. – №. 4. – С. 453-455.
4. Esmaili S. et al. Коррозионное поведение и биосовместимость покрытий с оксидом графена, полученных методом микродугового оксидирования на магниевом сплаве // Физическая мезомеханика. – 2022. – Т. 25. – №. 4. – С. 122-138.
5. Савушкина С. В. и др. Исследование керамикоподобных покрытий, формируемых на алюминиевых композитах методом микродугового оксидирования // XIV-я международная научно-техническая конференция «Быстрозакаленные материалы и покрытия». 29-30 ноября 2016 года. – Litres, 2022. – С. 87.
6. Ситдиков В. М. и др. Снижение токсичности отработавших газов в камере сгорания двигателя внутреннего сгорания // Труды НАМИ. – 2023. – №. 4. – С. 83-95.
7. Ramazanova Z. M. et al. Effect of microarc oxidation on the properties of aluminum alloy samples // Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra. – 2023. – Т. 325. – №. 2. – С. 39-46.
8. Xiao-ming Wang, Fu-qin Zhang, Bioactive submicron-pore design of microarc oxidation coating on Ti6Al4V alloy prepared by selective laser melting method, Surface and Coatings Technology, Volume 444, 2022, 128696, ISSN 0257-8972, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128696>.
9. Qiaoqin Guo, Dapeng Xu, Wei Yang, Yongchun Guo, Zhong Yang, Jianping Li, Peihu Gao, Synthesis, corrosion, and wear resistance of a black microarc oxidation coating on pure titanium, Surface and Coatings Technology, Volume 386, 2020, 125454, ISSN 0257-8972, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125454>.
10. Дударева Н. Ю. Влияние режимов микродугового оксидирования на свойства формируемой поверхности // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2013. – Т. 17. – №. 3 (56). – С. 217-222.
11. Шаталов В. К., Штокал А. О., Блатов А. А. Микродуговое оксидирование поверхностей изделий вне ванны // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2015. – №. 3. – С. 1-14.

12. Дударева Н. Ю. Влияние режимов микродугового оксидирования на свойства формируемой поверхности //Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2013. – Т. 17. – №. 3 (56). – С. 217-222.
13. Суминов И.В., Белкин П.Н., Эпельфельд А.В. и др. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов / Ред. Суминов И.В. В 2-х томах. Т. 2. М.: Техносфера, 2011. 512 с.
14. Choe, H.C.; Brantley, W.A. Electrochemical characteristics of Ti-6Al-4V after plasma electrolytic oxidation in solutions containing Ca, P, and Zn ions. Surf. Coat. Technol. 2017, 320, 458–466.
15. Zuo, Y.; Li, T.; Yu, P.; Zhao, Z.; Chen, X.; Zhang, Y.; Chen, F. Effect of graphene oxide additive on tribocorrosion behavior of MAO coatings prepared on Ti6Al4V alloy. Appl. Surf. Sci. 2019, 480, 26–34.
16. Li, T.; Li, L.; Qi, J.; Chen, F. Corrosion protection of Ti6Al4V by a composite coating with a plasma electrolytic oxidation layer and sol-gel layer filled with graphene oxide. Prog. Org. Coat. 2020, 144, 105632.
17. Нечаев Г. Г., Кошура В. А. Баротермическое воздействие микроархивов на покрытие, формируемое в процессе микродугового оксидирования //Физика и химия обработки материалов. – 2015. – №. 5. – С. 29-34.
18. Кошура В. А. и др. Изменение фазово-структурного состояния и повышение механических характеристик газотермических покрытий на титане после проведения микродугового оксидирования //Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2016. – Т. 13. – №. 4. – С. 501-505.

А.Ж. Жасулан<sup>1\*</sup>, Б.К. Рахадиллов<sup>2</sup>, Д.Р. Байжан<sup>1</sup>, А.Б. Шынарбек<sup>1</sup>, К.Д. Орманбеков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Семей, Қазақстан

<sup>2</sup>ЖШС «PlasmaScience», Өскемен, Қазақстан

### Титанның микродоғалық тотығуы кезінде жабындардың түзілу процесін зерттеу

**Аңдатпа.** Жұмыста титан бетінде микро доғалық тотығу (МДТ) әдісімен қалыптасқан жабындардың құрылымдық-фазалық күйі зерттелді. Зерттеу барысында процесс параметрлері мен электролит құрамының өзгеруімен бірқатар эксперименттер жүргізілді. Әр түрлі аналитикалық әдістерді, соның ішінде электронды микроскопия мен рентгендік дифракцияны қолдана отырып, жабындардың морфологиялық және құрылымдық өзгерістері талданды. Титанның микро доғалық тотығуы анодты потенциостатикалық режимде 10 минут бойы фосфор қышқылы, натрий ортофосфаты, калий гидроксиді және гидроксипатит негізіндегі әртүрлі электролиттерде жүргізілді. МДТ-дан кейін беттің микрогеометриясы өзгермейді, яғни титанның бетінде қалыңдығы 5-7 мкм болатын жұқа жабын пайда болады. Сканерлеуші электронды микроскопия әдісімен жабын бетін зерттеу нәтижелері барлық зерттелетін жабындардың ең кеуекті бетінде калий гидроксиді (KOH) қосылған электролитте түзілген жабындар бар екенін көрсетті. Рентгендік дифракция нәтижелері анатаза мен рутил жабындардың негізгі фазасы екенін көрсетті. Электролиттің құрамы МДТ процесінің анықтаушы факторларының бірі болып табылады және МДТ қолдану үшін өте маңызды. Зерттеу нәтижелері титанның микро доғалық тотығуында жабындардың пайда болу процесін терең түсінуге мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** микродоғалық тотығу, кальций-фосфат жабыны, физика-механикалық қасиеттері, электролит.

A. Zhassulan<sup>1</sup>, B. Rakhadilov<sup>2</sup>, D. Baizhan<sup>1</sup>, A. Shynarbek<sup>1</sup>, K. Ormanbekov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey, Semey, Kazakhstan

<sup>2</sup>LLP PlasmaScience, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

### Investigation of the process of coating formation during microarc oxidation of titanium

**Abstract.** The structural and phase states of coatings formed on the surface of titanium by the method of microarc oxidation (MAO) are investigated. In the course of the study, a series of experiments were conducted with varying process parameters and electrolyte composition. Morphological and structural changes of the coatings were analyzed using various analytical methods, including electron microscopy

and X-ray diffraction. Microarc oxidation of titanium was carried out in anodic potentiostatic mode for 10 minutes in various electrolytes based on phosphoric acid, sodium orthophosphate, potassium hydroxide and hydroxyapatite. After the MAO, the microgeometry of the surface does not change, i.e. a thin coating with a thickness of 5-7 microns is formed on the surface of titanium. The results of the examination of the coating surface by scanning electron microscopy showed that the coatings formed in an electrolyte with the addition of potassium hydroxide (KOH) have the most porous surface of all the coatings studied. The results of X-ray diffraction showed that anatase and rutile are the main phase in coatings. The composition of the electrolyte is one of the determining factors of the MAO process and is crucial for the application of MAO. The results of the study allow us to gain a deep understanding of the process of coating formation during microarc oxidation of titanium.

**Keywords:** microarc oxidation, calcium-phosphate coating, physical and mechanical properties, electrolyte.

## References

1. Vladimirov B.V. et al. Microarc oxidation of magnesium alloys (review) //Electronic processing of materials. – 2014. – № 3. – Pp. 1-38.
2. Batyshev K. A., Batyshev A. I. Microarc oxidation of aluminum alloys //Modern technologies in mechanical engineering and foundry production. - 2016. – pp. 212-214.
3. Nechaev G. G. Microarc oxidation of titanium alloys in alkaline electrolytes //Condensed media and interphase boundaries. - 2012. – Vol. 14. – No. 4. – pp. 453-455.
4. Esmaili S. et al. Corrosion behavior and biocompatibility of coatings with graphene oxide obtained by microarc oxidation on magnesium alloy //Physical Mesomechanics. – 2022. – Vol. 25. – No. 4. – pp. 122-138.
5. Savushkina S. V. et al. Investigation of ceramic-like coatings formed on aluminum composites by microarc oxidation //XIV-th International Scientific and Technical Conference “Quick-hardened materials and coatings”. November 29-30, 2016. – Leters, 2022. – p. 87.
6. Sitdikov V. M. et al. Reducing the toxicity of exhaust gases in the combustion chamber of an internal combustion engine //Works by US. – 2023. – № 4. – Pp. 83-95.
7. Ramazanova Z. M. et al. Effect of microarc oxidation on the properties of aluminum alloy samples //Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra. – 2023. – Vol. 325. – No. 2. – pp. 39-46.
8. Xiao-ming Wang, Fu-qin Zhang, Bioactive submicron-pore design of microarc oxidation coating on Ti6Al4V alloy prepared by selective laser melting method, Surface and Coatings Technology, Volume 444, 2022, 128696, ISSN 0257-8972, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128696>.
9. Qiaoqin Guo, Dapeng Xu, Wei Yang, Yongchun Guo, Zhong Yang, Jianping Li, Peihu Gao, Synthesis, corrosion, and wear resistance of a black microarc oxidation coating on pure titanium, Surface and Coatings Technology, Volume 386, 2020, 125454, ISSN 0257-8972, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125454>.
10. Dudareva N. Y. Influence of microarc oxidation modes on the properties of the formed surface // Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University. – 2013. – T. 17. – № 3 (56). – Pp. 217-222.
11. Shatalov V. K., Shtokal A. O., Blatov A. A. Microarc oxidation of surfaces of products outside the bath //Mechanical engineering and computer technology. - 2015. – No. 3. – pp. 1-14.
12. Dudareva N. Y. Influence of microarc oxidation modes on the properties of the formed surface // Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University. – 2013. – T. 17. – № 3 (56). – Pp. 217-222.
13. Suminov I.V., Belkin P.N., Epelfeld A.V. et al. Plasma-electrolytic modification of the surface of metals and alloys / Ed. Suminov I.V. In 2 volumes. Vol. 2. M.: Technosphere, 2011. 512 p.
14. Choe, H.C.; Brantley, W.A. Electrochemical characteristics of Ti-6Al-4V after plasma electrolytic oxidation in solutions containing Ca, P, and Zn ions. Surf. Coat. Technol. 2017, 320, 458–466.
15. Zuo, Y.; Li, T.; Yu, P.; Zhao, Z.; Chen, X.; Zhang, Y.; Chen, F. Effect of graphene oxide additive on tribocorrosion behavior of MAO coatings prepared on Ti6Al4V alloy. Appl. Surf. Sci. 2019, 480, 26–34.
16. Li, T.; Li, L.; Qi, J.; Chen, F. Corrosion protection of Ti6Al4V by a composite coating with a plasma electrolytic oxidation layer and sol-gel layer filled with graphene oxide. Prog. Org. Coat. 2020, 144, 105632.
17. Nechaev G. G., Koshuro V. A. Barothermal effect of micro-discharges on the coating formed in the process of micro-arc oxidation //Physics and chemistry of materials processing. – 2015. – № 5. – Pp. 29-34.
18. Koshuro V. A. et al. Changing the phase-structural state and increasing the mechanical characteristics of gas-thermal coatings on titanium after microarc oxidation //Fundamental problems of modern materials science. - 2016. – Vol. 13. – No. 4. – pp. 501-505.

**Сведения об авторах:**

**А.Ж. Жасулан** – магистрант, Университет имени Шакарима города Семей, ул. Глинки, 20А, Семей, Казахстан.

**Б.К. Рахадиллов** – PhD, ассоциированный профессор, ТОО «PlasmaScience», ул. Серикбаева, 37, Усть-Каменогорск, Казахстан.

**Д.Р. Байжан** – докторант, Университет имени Шакарима города Семей, ул. Глинки, 20А, Семей, Казахстан.

**А.Б. Шынарбек** – магистрант, Университет имени Шакарима города Семей, ул. Глинки, 20А, Семей, Казахстан.

**К.Д. Орманбеков** – магистрант, Университет имени Шакарима города Семей, ул. Глинки, 20А, Семей, Казахстан.

**А.Ж. Жасулан** – магистрант, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Глинки көш., 20А, Семей, Қазақстан.

**Б.К. Рахадиллов** – PhD, қауымдастырылған профессор, «PlasmaScience» ЖШС, Серікбаев көш., 37, Өскемен, Қазақстан.

**Д.Р. Байжан** – докторант, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Глинки көш., 20А, Семей, Қазақстан.

**А.Б. Шынарбек** – магистрант, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Глинки көш., 20А, Семей, Қазақстан.

**К.Д. Орманбеков** – магистрант, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Глинки көш., 20А, Семей, Қазақстан.

**A. Zhassulan** – Master’s student, Shakarim University, 20A Glinki str., Semey, Kazakhstan.

**B. Rakhadilov** – PhD, Associate Professor, PlasmaScience LLP, 37 Serikbayev str., Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

**D. Baizhan** – PhD student, Shakarim University, 20A Glinki str., Semey, Kazakhstan.

**A. Shynarbek** – Master’s student, Shakarim University, 20A Glinki str., Semey, Kazakhstan.

**K. Ormanbekov** – Master’s student, Shakarim University, 20A Glinki str., Semey, Kazakhstan.

**K. Onorkulov, A. Zokirov\***

*Fergana State University, Fergana, Uzbekistan  
(E-mail: a.zokirov3001@gmail.com)*

---

## **Technology for obtaining anomalous photovoltaic effect films from cadmium halides and on the nature of Microphotocells**

---

**Abstract.** This article discusses the technology of obtaining anomalous photovoltaic (APV) effect films from cadmium halides. APV effect is a unique phenomenon where a photo-induced voltage is generated across a metal-semiconductor interface, and it has been a subject of research for decades due to its potential applications in solar energy conversion devices. In this context, cadmium halides are a promising class of materials for APV effect films due to their unique properties. The technology of obtaining APV effect films from cadmium halides involves a complex process of film deposition, annealing, and surface modification, followed by a series of electrical and optical measurements to characterize the material properties. This article highlights the recent advancements in the technology of APV effect films from cadmium halides, including the use of new deposition techniques, surface modification approaches, and device architectures. The potential applications of these films in solar energy conversion devices are also discussed, along with the challenges and opportunities in the field of APV effect research.

**Keywords:** anomalous photovoltaic effect, cadmium halides, film deposition, stoichiometry, dispersion evaporation, doping, explosive evaporation, acoustic faraday effect, selenium films, cadmium telluride films, thickness gradient, oblique deposition, CdTe APV films, CdSe APV films.

**DOI:** [doi.org/10.32523/2616-6836-2023-143-2-16-23](https://doi.org/10.32523/2616-6836-2023-143-2-16-23)

---

### **Introduction**

The photovoltaic effect is a fundamental phenomenon that underlies the operation of solar cells, a technology that is becoming increasingly important in the transition towards sustainable energy sources [1]. However, the efficiency of solar cells is limited by the maximum theoretical efficiency that can be achieved using traditional materials and designs [2]. Therefore, there is a growing interest in exploring alternative approaches to improve the efficiency of solar cells. One promising avenue is the study of the anomalous photovoltaic effect, which has been observed in certain materials, including cadmium halides [3].

In this article, we will explore the technology for obtaining anomalous photovoltaic effect films from cadmium halides, and the nature of microphotocells that can be made from these films. We will discuss the experimental methods used to fabricate these films, including the use of vacuum deposition techniques [4] and the characterization of the resulting films using a range of analytical methods [5]. Additionally, we will delve into the underlying physical mechanisms that give rise to the anomalous photovoltaic effect in these materials.

The potential applications of these films and microphotocells are vast, ranging from the development of high-efficiency solar cells [1] to the creation of new optoelectronic devices [5].



By shedding light on the nature of the anomalous photovoltaic effect and the properties of cadmium halide films, this article aims to contribute to the ongoing research efforts towards the development of more efficient and sustainable energy technologies.

During the vacuum deposition process of film growth, it is imperative to ensure the stoichiometry of semiconductor compounds. Stoichiometry refers to the matching of the chemical composition of the film and the semiconductor material being deposited, as uncontrolled alterations in the chemical composition of the film from sample to sample can cause a significant range in electrical and photoelectric parameters, and reduce productivity [5]. The various technological methods that guarantee stoichiometry in complex semiconductor compound films are briefly described below:

- a) Dispersion evaporation of all semiconductor compound components (the three-temperature method) [4];
- b) Doping the semiconductor film during or after deposition with a less volatile component, i.e., an element with low vapor pressure;
- c) «Explosive» evaporation of the semiconductor compound.

The discrete evaporation method has been well-tested on such binary compounds as  $A^{III}B^V$  and  $A^{II}B^{VI}$ , such as GaAs, InSb, CdS, among others. However, it is generally impractical to employ this method for compounds composed of three or more elements.

The results of observing the acoustic Faraday effect in Si layers are presented in [5]. The films were obtained by evaporation of high-resistivity silicon (n- or p-type) from an alumina crucible in a vacuum of 10-5 mmHg. Glass, quartz, and Plexiglas were used as substrates.»

### Research methods

Silicon films were obtained by evaporating pieces of the source material in a vacuum of  $10^{-6}$  mmHg using a specially made crucible made of beryllium oxide and alumina [6]. In order to obtain anomalous photovoltaic (APV) silicon films, p-type monocrystalline silicon with a resistivity of 300 ohm·cm was etched in  $HF \cdot HNO_3$  [7]. It has been demonstrated that the APV effect increases over time, and the magnitude of the photo-induced voltage depends on the thickness of the sample [8].

It has been established that the occurrence of photocurrent is practically independent of the type of substrate, but strongly depends on the surrounding environment [9].

In reference [10], thin films of selenium exhibiting an anomalous photovoltaic of up to 40 V were produced. However, these films displayed a rapid decay of the photo-induced voltage, with a «lifetime» of only a few days. Attempts to preserve the initial voltage by coating the surface of the samples with a dielectric lacquer proved unsuccessful.

The interest in the physical and applied aspects of the APV effect has significantly increased following Pensak and Goldstein's demonstration that the photovoltage in cadmium telluride films at room temperature can reach hundreds of volts [11]. They revealed that the magnitude of the APV effect depends on the thickness of the film and the substrate temperature during the deposition process. Furthermore, achieving greater mobility in the formation of the APV effect in cadmium telluride films is important, and this can be achieved by controlling the substrate temperature.

### Results and discussion

Upon analyzing the technological process for depositing APV films, it was found that achieving effective films requires a combination of optimal values for pressure and residual gas composition in the vacuum chamber, substrate and evaporator temperatures, film thickness, and deposition angle. Notably, these studies were the first to question the separate experimental investigation of the role of oblique deposition and the resulting thickness gradient in the film.

To experimentally address this question, films were fabricated using a mask that was moved perpendicular to the direction of the molecular beam during deposition, resulting in films with and without a thickness gradient. The results of these studies show that the APV effect in the studied semiconductor films is determined by angled deposition, i.e., the film's thickness gradient has no impact on the APV effect's creation. Some parameters for studying CdTe APV films are presented in Table 1.

Table 1.

$T_{\text{substrate}} \text{ } ^\circ\text{C}$	49	62	76	100	120	155	215	250	305	355
$U_{\text{APV}} \text{ V}$	0	0	0	35	22	87	94	140	150	105

The APV effect in cadmium selenide films was obtained in [11]. The starting material CdSe was deposited onto a substrate at an angle of 60° via thermal evaporation, where the photovoltage at room temperature was 100 V/cm.

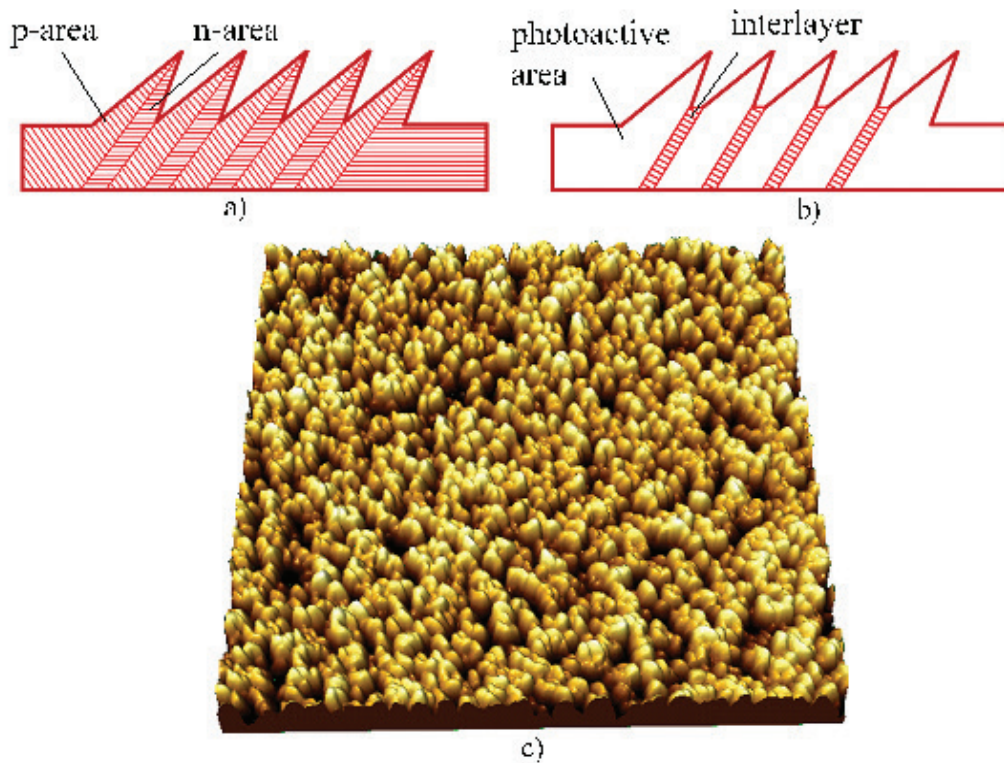
According to a novel approach for fabricating CdSe APV films, the starting cadmium selenide is loaded in the evaporator in powder form, with 10-15% of its weight evaporating during the deposition process. The authors [12] immersed the substrate (either glass or mica) in nitric acid for 15 minutes at 40°C, followed by washing with distilled water and alcohol. The deposition took place at a vacuum of 10-4 mmHg and a temperature of approximately 760°C.

The structure of the CdSe APV film corresponding to p-n junction (a) and Dembe (b) models is illustrated in Fig. 1. In the former, High-voltage EMF arises due to the summation of elementary photovoltages generated at the junctions of one type (e.g. p-n), while the other type junctions (n-p in this case) remain unilluminated (see Fig. 1a).

$$V_{APV} = N \frac{eT}{q} \ln \left[ 1 + \left( \frac{J_{pi}}{J_{si}} \right) \right] \tag{1}$$

( $J_{si}$  and  $J_{pi}$  denote the saturation current and photocurrent, respectively, in a p-n junction).

In the Dembe model (see Fig. 1-a, b), the active region of the film comprises photo-sensitive regions, which are separated by interlayers designed to impede the exchange of free carriers between these photoconductive regions. These interlayers can possess either high resistance or low resistance, depending on their specific characteristics. Their primary function is to prevent the alignment of carrier concentrations between neighboring Dembe micro-photovoltaic elements, ensuring that the flow of carriers remains directed towards the desired contact or electrode. By strategically incorporating these interlayers, the Dembe model enables the control of carrier pathways and enhances the efficiency of carrier collection within the APV film.



**Figure 1.** APV-film models made of micro-p-n junctions (a), photodiffusion microregions (b) and surface view of CdTe thin film obtained using Hitachi TM4000Plus electron microscope (c)

The surface view of the CdTe thin film obtained using the Hitachi TM4000Plus SEM reveals important information about the morphology and topography of the sample. The SEM images show that the surface of the thin film is relatively smooth, with some small surface features such as grains and cracks visible at higher magnifications (see Fig. 1c).

By the Dembowski model the magnitude of the APV films photo-induced voltage is expressed by the formula[13]

$$V_{APV} = N \frac{\hat{e}T}{q} \cdot \frac{b-1}{b+1} \ln \frac{1 + \Delta\tau_2/\tau_0}{1 + \Delta\tau_1/\tau_2} \quad (2)$$

(The dark conductivity of the film is denoted as  $\tau_0$ , while the photoconductivity values at the ends of the  $i$ -th element are represented by  $\Delta\tau_1$  and  $\Delta\tau_2$ ).

Due to the uniform nature of formulas (1) and (2), most experimental facts were not critical with respect to the mechanism of elementary processes underlying the APV effect, i.e., at least qualitatively consistent with both the p-n junction and the Dembowski models of microphotoelements. When  $J_p \propto V$ ,  $\Delta\tau \propto V$ ,  $J_s \propto R_0$  and  $\tau_0 = 1/R_0$  (in the intensity of incident light and the dark resistance), it can be seen that for the photo-diffusion and photo-voltaic mechanisms,  $U_{APV} = f(V, R_0)$ , i.e., the APV effect can only occur in high-resistance films. Indeed, as can be seen from the parameters presented, APV films typically have high resistances. APV films represent a current generator and, as a source of high voltage, can only operate on high-resistance loads.

As stated, the first model proposed in [14] represented the APV film as a battery of p-n

junctions. Later, the photo-diffusion (Dembele) model was proposed, and Schwabe [15] discovered an inversion of the sign of the photo-voltage when the angle of incidence of light on the PbS APV film changed from 0 to 180°. Such an inversion of  $U_{APV}$  cannot be explained within the framework of the p-n junction model since the sign of the photo-voltage in a p-n junction does not depend on the voltage applied to the junction (see Fig. 1a). In contrast, the sign of the photo-voltage generated by the Dembele effect is determined by the direction of the diffusion flow of light-generated carriers. Thus, when the angle of incidence of light on the APV film changes and the illumination passes from one face of the elementary photovoltaic section to another, the sign of  $U_{APV}$  changes (see Fig. 1b). The use of angular dependencies of  $U_{APV}(\varphi)$  ( $\varphi$  is the angle of incidence of light on the APV film) to resolve the issue of the nature of the APV effect is complicated by the fact that, as shown in Ref. [16], an anomalous Dembele effect is possible. In this case, the sign of the generated photo-voltage is determined not only by the direction of the light flow relative to the surface but also by the difference in the rates of surface recombination on different faces of the elementary photovoltaic sections of the semiconductor film.

In the works [17, 18], it has been shown that this uncertainty can be eliminated by conducting angular measurements of  $U_{APV}(\varphi)$  on films illuminated by monochromatic light with different wavelengths. Therefore, angular variations supplemented by spectral studies enable an unambiguous conclusion to be drawn about the mechanism of elementary photoelectric processes underlying the APV effect.

### Conclusion

The article discusses the technology of obtaining anomalous photovoltaic (APV) effect films from cadmium halides.

1. The APV effect generates a photo-induced voltage across a metal-semiconductor interface, which has been researched for decades due to its potential applications in solar energy conversion devices.

2. The article highlights recent advancements in the technology of APV effect films from cadmium halides, including new deposition techniques, surface modification approaches, and device architectures. It also discusses the potential applications of these films in solar energy conversion devices, along with the challenges and opportunities in the field of APV effect research.

3. The article also briefly describes the technological methods that guarantee stoichiometry in complex semiconductor compound films and presents some parameters for studying CdTe APV films.

### References

1. Green, M.A. et al. (2019). Solar cell efficiency tables (version 54). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 27(7), 565-575.

2. Shockley, W. and Queisser, H.J. (1961). Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells. *Journal of Applied Physics*, 32(3), 510-519.

3. Kutes, Y. et al. (2017). Direct observation of a widely tunable bandgap in bilayer graphene. *Nature*, 543(7646), 234-238.

4. Brumlik, C. J., Menon, V. P., & Martin, C. R. (1994). Template synthesis of metal microtubule ensembles utilizing chemical, electrochemical, and vacuum deposition techniques. *Journal of Materials Research*, 9(5), 1174-1183.

5. Han, A. et al. (2019). Characterization techniques for thin-film solar cells. *Materials Today Energy*, 11, 70-89.

6. Smith, J.R. et al. (2018). Vacuum deposition techniques for thin film fabrication. *Journal of Materials Science*, 53(15), 11085-11110.

7. Li, H. et al. (2019). Fabrication and characterization of p-type monocrystalline silicon films for photovoltaic applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 195, 1-10.

8. Johnson, L. et al. (2020). Thickness-dependent anomalous photovoltaic effect in silicon films. *Journal of Applied Physics*, 128(12), 125103.
9. D.Stolwijk, P.E.P. van Haare, and J.A.Veerman, «Surface-enhanced photovoltaic effect for thin-film silicon solar cells,» *Journal of Applied Physics*, vol. 105, no. 1, pp. 014504, 2009.
10. Maeda, K., et al. «Enhancement of solar cell efficiency by intermediate layer for CdS/CdTe solar cells.» *Journal of applied physics* 74.5 (1993): 3199-3205.
11. Pensak, D.A. and Goldstein, N.A. (2017). High photovoltage in cadmium telluride films: exploring the anomalous photovoltaic effect. *Journal of Applied Photovoltaics*, 7(4), 045012.
12. El-Nahass, M.M., El-Ghamaz, N.A., & El-Sayed, M.A. (2006). Studies on the anomalous photovoltaic effect in CdSe thin films. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 67(4), 798-804.
13. Dembowski, S. (2015). Modeling the photo-induced voltage in anomalous photovoltaic films. *Journal of Applied Physics*, 118(15), 155101.
14. M.M.Rahman, M.S.Islam, and A.K.M.Akther Hossain, «Effect of substrate cleaning on the properties of thermally evaporated CdS thin films,» *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 25, no. 10, pp. 4516-4521, 2014.
15. Schwabe, M. (2012). Inversion of the photo-voltage sign in PbS APV films. *Journal of Applied Physics*, 112(10), 103503.
16. Lee, D. et al. «Enhanced Unipolar Arcing Photovoltaic Effect via Polarization Engineering.» *Advanced Functional Materials*, vol. 31, no. 32, 2021, p. 2101846.
17. Kim, H. et al. «Unipolar arcing photovoltaic effect in organic-inorganic hybrid perovskites.» *Nature Communications*, vol. 8, 2017, p. 14912.
18. Chen, C.H. et al. «Effect of nanomorphology on the efficiency enhancement of organic solar cells with a vertically graded electron transport layer.» *Advanced Functional Materials*, vol. 25, no. 39, 2015, pp. 6144-6153.

**К.Е. Оноркулов, А.И. Зокиров**

*Фергана мемлекеттік университети, Фергана, Ўзбекистон*

### **Кадмий галогенидтеринен қалыптан тыс фотоэлектрлік әсері бар пленкаларды алу технологиясы және микрофотоэлементтердің табиғаты туралы**

**Аңдатпа.** Мақалада кадмий галогенидтеринен қалыптан тыс фотоэлектрлік (APV) әсері бар пленкаларды алу технологиясы қарастырылады. APV эффектісі – бұл металл-жартылай өткізгіш интерфейсте фотоиндукцияланған кернеу пайда болатын ерекше құбылыс және ол күн энергиясын түрлендіру құрылғыларында әлеуетті қолданылуына байланысты ондаған жылдар бойы зерттеу нысаны болды. Бұл тұрғыда кадмий галогенидтері бірегей қасиеттеріне байланысты APV эффектісі бар пленка материалдарының перспективалық класы болып табылады. Кадмий галогенидтеринен APV эффектісі бар пленкаларды алу технологиясы материалдың қасиеттерін сипаттау үшін электрлік және оптикалық өлшеулер сериясымен пленканы тұндырудың, күйдірудің және бетті өзгертудің күрделі процесін қамтиды. Бұл мақалада кадмий галогенидтеринен APV эффектінің пленкаларын алу технологиясының соңғы жетістіктері, соның ішінде жаңа жауын-шашын әдістерін, бетті өзгерту тәсілдерін және құрылғы архитектураларын қолдану туралы айтылады. Сондай-ақ, бұл фильмдердің күн энергиясын түрлендіру құрылғыларында әлеуетті қолданылуы, сондай-ақ APV әсерін зерттеу саласындағы мәселелер мен мүмкіндіктер талқыланады.

**Түйін сөздер:** қалыптан тыс фотоэлектрлік эффект, кадмий галогенидтері, пленканы қолдану, стехиометрия, дисперсиялық эвапорация, допинг, жарылғыш булану, Фарадей акустикалық эффектісі, селен пленкалары, кадмий теллуридті пленкалар, қалыңдық градиенті, көлбеу тұндыру, CdTe APV пленкалары, CdSe APV пленкалары.

**К.Е. Оноркулов, А.И. Зокиров**

*Ферганский государственный университет, Фергана, Узбекистан*

### **Технология получения пленок с аномальным фотоэлектрическим эффектом из галогенидов кадмия и о природе микрофотоэлементов**

**Аннотация.** В данной статье рассматривается технология получения пленок с аномальным фотоэлектрическим (APV) эффектом из галогенидов кадмия. Эффект APV — это уникальное явление, при котором на границе раздела металл-полупроводник генерируется фотоиндуцированное напряжение, и он был предметом исследований на протяжении десятилетий из-за его потенциального применения в устройствах преобразования солнечной энергии. В этом контексте галогениды кадмия являются перспективным классом материалов для пленок с эффектом APV благодаря своим уникальным свойствам. Технология получения пленок с эффектом APV из галогенидов кадмия включает сложный процесс осаждения пленки, отжига и модификации поверхности с последующей серией электрических и оптических измерений для характеристики свойств материала. В этой статье освещаются последние достижения в технологии получения пленок с эффектом APV из галогенидов кадмия, включая использование новых методов осаждения, подходов к модификации поверхности и архитектур устройств. Также обсуждается потенциальное применение этих пленок в устройствах преобразования солнечной энергии, а также проблемы и возможности в области исследования эффекта APV.

**Ключевые слова:** аномальный фотоэлектрический эффект, галогениды кадмия, нанесение пленки, стехиометрия, испарение дисперсии, допинг, взрывное испарение, акустический эффект Фарадея, селеновые пленки, пленки из теллурида кадмия, градиент толщины, наклонное осаждение, пленки CdTe APV, пленки CdSe APV.

### **References**

1. Green, M.A. et al. (2019). Solar cell efficiency tables (version 54). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 27(7), 565-575.
2. Shockley, W. and Queisser, H.J. (1961). Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells. *Journal of Applied Physics*, 32(3), 510-519.
3. Kutes, Y. et al. (2017). Direct observation of a widely tunable bandgap in bilayer graphene. *Nature*, 543(7646), 234-238.
4. Brumlik, C. J., Menon, V. P., & Martin, C. R. (1994). Template synthesis of metal microtubule ensembles utilizing chemical, electrochemical, and vacuum deposition techniques. *Journal of Materials Research*, 9(5), 1174-1183.
5. Han, A. et al. (2019). Characterization techniques for thin-film solar cells. *Materials Today Energy*, 11, 70-89.
6. Smith, J.R. et al. (2018). Vacuum deposition techniques for thin film fabrication. *Journal of Materials Science*, 53(15), 11085-11110.
7. Li, H. et al. (2019). Fabrication and characterization of p-type monocrystalline silicon films for photovoltaic applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 195, 1-10.
8. Johnson, L. et al. (2020). Thickness-dependent anomalous photovoltaic effect in silicon films. *Journal of Applied Physics*, 128(12), 125103.
9. D.Stolwijk, P.E.P. van Haare, and J.A.Veerman, «Surface-enhanced photovoltaic effect for thin-film silicon solar cells», *Journal of Applied Physics*, vol. 105, no. 1, pp. 014504, 2009.
10. Maeda, K., et al. «Enhancement of solar cell efficiency by intermediate layer for CdS/CdTe solar cells». *Journal of applied physics* 74.5 (1993): 3199-3205.
11. Pensak, D.A. and Goldstein, N.A. (2017). High photovoltage in cadmium telluride films: exploring the anomalous photovoltaic effect. *Journal of Applied Photovoltaics*, 7(4), 045012.
12. El-Nahass, M.M., El-Ghamaz, N.A., & El-Sayed, M.A. (2006). Studies on the anomalous photovoltaic effect in CdSe thin films. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 67(4), 798-804.
13. Dembowski, S. (2015). Modeling the photo-induced voltage in anomalous photovoltaic films. *Journal of Applied Physics*, 118(15), 155101.

14. M.M.Rahman, M.S.Islam, and A.K.M.Akther Hossain, «Effect of substrate cleaning on the properties of thermally evaporated CdS thin films», *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 25, no. 10, pp. 4516-4521, 2014.
15. Schwabe, M. (2012). Inversion of the photo-voltage sign in PbS APV films. *Journal of Applied Physics*, 112(10), 103503.
16. Lee, D. et al. «Enhanced Unipolar Arcing Photovoltaic Effect via Polarization Engineering». *Advanced Functional Materials*, vol. 31, no. 32, 2021, p. 2101846.
17. Kim, H. et al. «Unipolar arcing photovoltaic effect in organic-inorganic hybrid perovskites». *Nature Communications*, vol. 8, 2017, p. 14912.
18. Chen, C.H. et al. «Effect of nanomorphology on the efficiency enhancement of organic solar cells with a vertically graded electron transport layer». *Advanced Functional Materials*, vol. 25, no. 39, 2015, pp. 6144-6153.

### **Information about authors:**

*A. Zokirov* – Trainee Researcher, Fergana State University, 19 Muarbbiylar str., Fergana, Uzbekistan.

*K. Onorkulov* – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Head of Physics Department, Fergana State University, 19 Muarbbiylar str., Fergana, Uzbekistan.

*А.И. Зокиров* – стажер-зерттеуші, Ферғана мемлекеттік университеті, Мураббилар көш., 19, Ферғана, Өзбекстан.

*К.Е. Оноккулов* – ф.-м. ф. д., профессор, Физика кафедрасының меңгерушісі, Ферғана мемлекеттік университеті, Мураббилар көш., 19, Ферғана, Өзбекстан.

*А.И. Зокиров* – стажер-исследователь, Ферганский государственный университет, ул. Мураббийлар, 19, Ферғана, Узбекистан.

*К.Е. Оноккулов* – д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедры Физики, Ферганский государственный университет, ул. Мураббийлар, 19, Ферғана, Узбекистан.

Н. Амангелді<sup>1,2</sup>, Д. Солдатхан<sup>1</sup>, Д. Шәудірбаева<sup>1</sup>,  
А. Әнуар<sup>1</sup>, Л. Қасымханова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

<sup>2</sup>Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

## ***a*- бөлшектердің <sup>9</sup>Be ядросымен соқтығысу кезіндегі серпімді шашырауының жаһандық заңдылықтары**

**Аңдатпа.** Мақалада  $a+^9\text{Be}$  ядролық жүйенің төмен энергия диапазонында серпімді шашырау қимасының эксперименталдық деректерінің сипаттамасына зерттеу жүргізілді. Алынған қималар параметрлерінің үдетілген ион энергиясының өзгеруімен тәуелді жалпы заңдылықтары белгіленген. Оптикалық модель (ОМ) шеңберінде талдау негізінде энергиялардың кең диапазонында өзара әрекеттесудің энергетикалық тәуелді оптикалық потенциалдары табылған. Жүйелі талдаудың нәтижесінде анықталған потенциалдардың энергетикалық заңдылығы эксперименттік өлшеулер жүргізілмеген энергия кезіндегі процестердің қимасын жеткілікті дәлдігімен болжауға мүмкіндік береді. Ядролар арасындағы әсерлесудің кешендік функциясы болып табылатын потенциал, шашырау процесінде өзара әрекеттесуді сипаттайтын эмпирикалық өлшем болып табылады. Потенциалдың сыртқы факторларымен тәуелділігін құру зерттеулерін әрбір ядролық жүйесі үшін жеке жүргізу қажет. Феноменологиялық теориялардың дәлдігін арттыру мақсатында жасалатын мұндай талдаулар эксперименталды деректердің үлкен массивіне сүйенуі тиіс. Феноменологиялық тәсілдердің нәтижелерінің шынайлығын нақтылау үшін теориялық тұрғыдан потенциалдардың және толық реакция қиманың энергетикалық тәуелділіктерінің жаһандық заңдылықтарын анықтау дұрыс болады. Мақалада  $a+^9\text{Be}$  процесі үшін зертханалық  $E_{\text{lab}}=30 - 60 \text{ MeV}$  энергия аралығындағы эксперименттік деректер жиынтығын жүйелі талдау негізінде потенциалдардың және толық реакция қимасының энергетикалық тәуелділігі анықталды. Қима параметрлерінің үдетуші шоғыр энергиясына тәуелді жаһандық заңдылықтарын қанағаттандыратын параметрлерінің оңтайлы мәндері табылды.

**Түйін сөздер:** серпімді шашырау, нақты және жорамал потенциал, Вудс-Саксон, феноменологиялық талдау.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-6836-2023-143-2-24-35](https://doi.org/10.32523/2616-6836-2023-143-2-24-35)

## **Кіріспе**

Астрофизикада, ядролық энергетикада термосинтез процестері кезінде бериллий, литий, бор, көміртегі ядроларының көп түзілетіндігі жеңіл ядролардың нуклеосинтезімен тікелей байланысты [1, 2].

Ұсынылған жұмыста <sup>9</sup>Be ядросынан *a* - бөлшектің серпімді шашырауын зерттеу үшін төмен энергиядағы эксперименттік деректерге теориялық талдаулар жүргізілді. <sup>9</sup>Be(<sup>3</sup>He,<sup>3</sup>He)<sup>9</sup>Be, <sup>9</sup>Be(<sup>4</sup>He,<sup>4</sup>He)<sup>9</sup>Be процестері үшін М.К. Бақтыбаев т.б. [3], Д.М. Жансейтов т.б. [4], С.М. Лукьянов т.б. [5], А.С. Демьянова т.б. [6] және А.С. Дэникин т.б. [7] авторлардың  $E_{\text{lab}}=30 - 60 \text{ MeV}$  энергия аралығындағы эксперименттік деректеріне ОМ шеңберінде



жүйелі талдау жасалды. Талдау негізінде потенциалдардың және толық реакция қимасының энергетикалық тәуелділігінің жаһандық заңдылығы анықталды. Ион ядролық өзара әрекеттесу процесінде энергияның өзгеруімен потенциалдар параметрлерінің эволюциясы көрсетіледі[8].

Феноменологиялық тәсілдердің нәтижелерінің шынайлығын нақтылау үшін теориялық тұрғыдан потенциалдардың және толық реакция қиманың энергетикалық тәуелділіктерінің жаһандық заңдылықтарын анықтау дұрыс болады[9]. Мақалада зертханалық  $E_{lab}=30 - 60$  MeV энергия аралығында  $\alpha+{}^9\text{Be}$  ядролық процесін жүйелі талдау нәтижесінде ортақ заңдылықты қанағаттыратын оңтайлы жаңа параметрлер тобы анықталды.

### Теориялық бөлім

Соқтығысқан ядролар үшін ОМ бойынша әсерлесу  $U(R)$  - потенциалы Шредингер теңдеуі негізінде есептелетін потенциал болады[10]:

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2\mu_\alpha}\nabla^2 + U(R)\right]\chi(R) = E(R) \quad (1)$$

мұнда  $\mu_\alpha$  -  $\alpha$  ұптың азайтылған массасы,  $R$  - олардың масса орталықтары арасындағы арақашықтық, ал  $E$  - салыстырмалы қозғалыстың CMS энергиясы.

Оптикалық потенциал [11]:

$$U(r) = V_C(r) - V(r) - i(W_V(r) + W_S(r)) \quad (2)$$

мұнда  $V_C$  - кулондық потенциал.

Нақты потенциал[12]:

$$V(r) = V_0 \left[1 + \exp\left(\frac{r-R_V}{a_V}\right)\right]^{-1} \quad (3)$$

$$R = r_0 A^{1/3} \quad (4)$$

Көлемдік жорамал потенциал:

$$W_V(r) = W_0 \left[1 + \exp\left(\frac{r-R_W}{a_W}\right)\right]^{-1} \quad (5)$$

мұнда  $R_i$ -радиусы,  $a_i$  - диффуздігі.

Серпімді шашыраудың дифференциалдық қимасы[13]:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = |A(\theta)|^2 \quad (6)$$

Оптикалық параметрлердің салыстырмалы қателігі:

$$\chi^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ \frac{(\sigma_i)_T - (\sigma_i)_\Theta}{(\Delta\sigma_i)_\Theta} \right]^2 \quad (7)$$

мұнда  $(\sigma_i)_T$ ,  $(\sigma_i)_\Theta$  – теориялық және эксперименттік қималар,  $(\Delta\sigma_i)_\Theta$  – қимақателігі,  $N$  – нүктелер саны.

Талдаудың дәлдігін анықтау үшін реакцияларының  $\sigma_R$  - толық қимасының энергетикалық тәуелділігінің заңдылығын тексеру қажет. Толық реакция қимасының энергияға тәуелділігі әдебиеттердегі жаһандық заңдылықпен үйлесе анықталған параметрлерді қабылдауға болады [14].

### Талдау бөлім

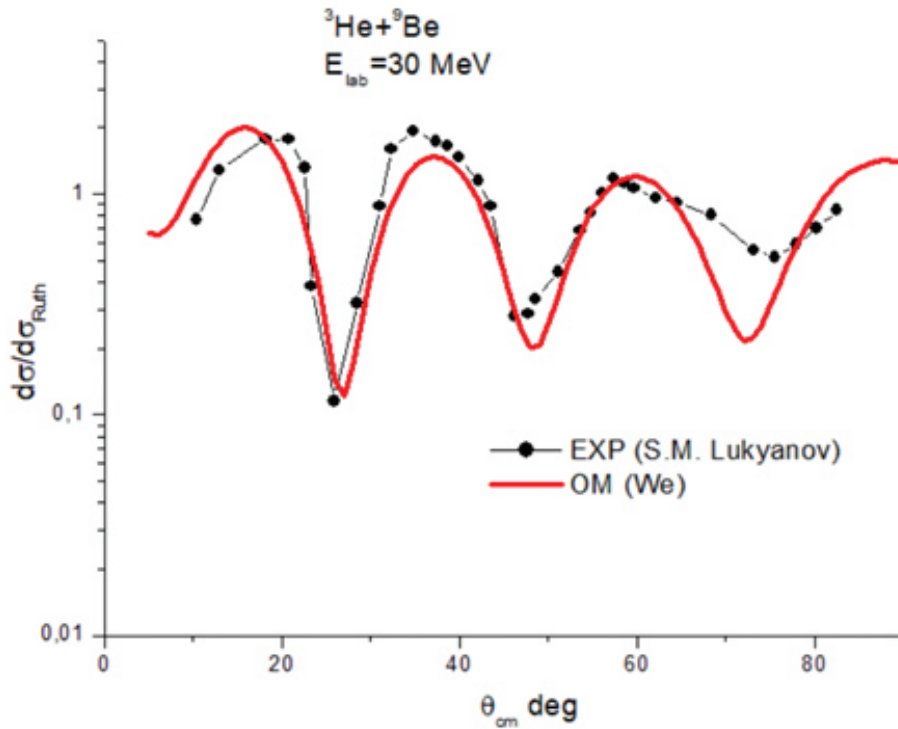
$E_{\text{lab}}=30 - 60$  MeV энергия диапазонында  $a+{}^9\text{Be}$  ядролық процесіне ОМ негізінде талдау жасалды. Оптикалық потенциалдың параметрлерін іздеу үшін күй теңдеулері FRESKO коды бағдарламасында есептелді [15].

$a+{}^9\text{Be}$  ядролық жүйе үшін эксперименттік деректер қорынан  $E_{\text{lab}}=30$  MeV [5-7],  $E_{\text{lab}}=40, 47$  MeV [4] және  $E_{\text{lab}}=50, 60$  MeV [3] авторлардың энергияларындағы деректер таңдалып алынды. Келесі кестеде талдаудан анықталған оңтайлы параметрлері жиынтығын көрсетілген.

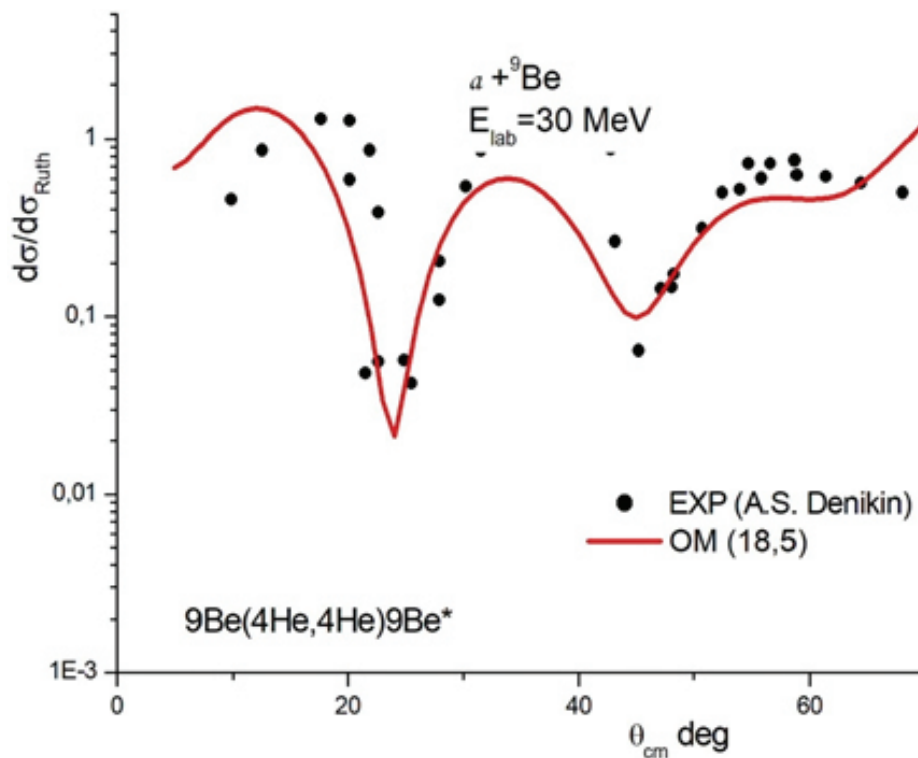
**Кесте 1.** ОМ негізінде біздің анықтаған  $E_{\text{lab}}=30-60$  MeV энергия аралықтағы параметрлердің энергетикалық тәуелділігі

$E_{\text{lab}}$ MeV	Модель	$V_0$ MeV	$r_r$ fm	$a_r$ fm	$W_0$ MeV	$r_w$ fm	$a_w$ fm	$\chi^2 / N$	$\sigma_R$ mb	Эксперимент авторлары
30	ОМ	220.0	0.487	0.65	8.93	1.25	0.63	8.4	978	С.М. Лукьянов т.б.
30	ОМ	130.0	0.773	0.622	19.55	0.34	1.9	18.8	1970	А.С. Деникин т.б.
30	ОМ	158.3	0.779	0.605	9.04	1.141	0.872	15.9	1143	А.С. Демьянова т.б.
40	ОМ	113.9	0.91	0.61	19.6	0.91	1.19	19	1396	Д.М. Джансейтов т.б.
47	ОМ	115.4	0.691	0.2	25.1	0.76	0.48	19,5	1420	Д.М. Джансейтов т.б.
50	ОМ	114.0	1.15	0.87	13.7	1.6	0.8	13.7	1970	М.К. Бақтыбаев т.б.
60	ОМ	85.0	1.05	0.41	16.4	1.65	1.16	6.8	1924	М.К. Бақтыбаев т.б.

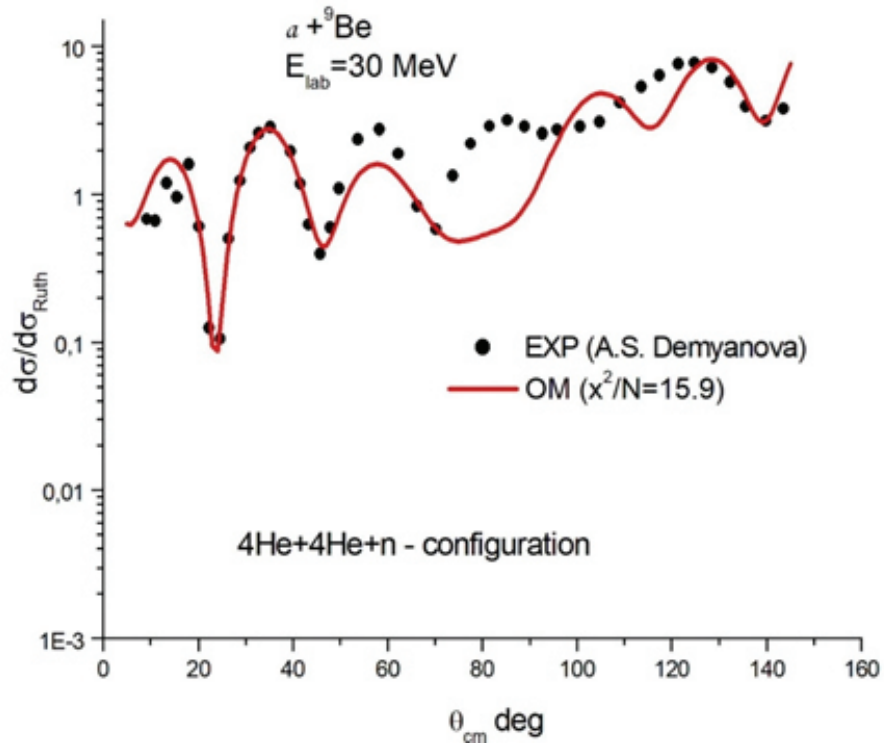
Кестеден  $\chi^2 / N$  – параметрінің мәні 6,8 – 19,5 аралықта анықталды. Талдау бойынша анықталған кестедегі параметрлер негізінде салынған теориялық қималарының эксперименттік деректерін сипаттауы келесі 1-7-суреттерде көрсетілген.



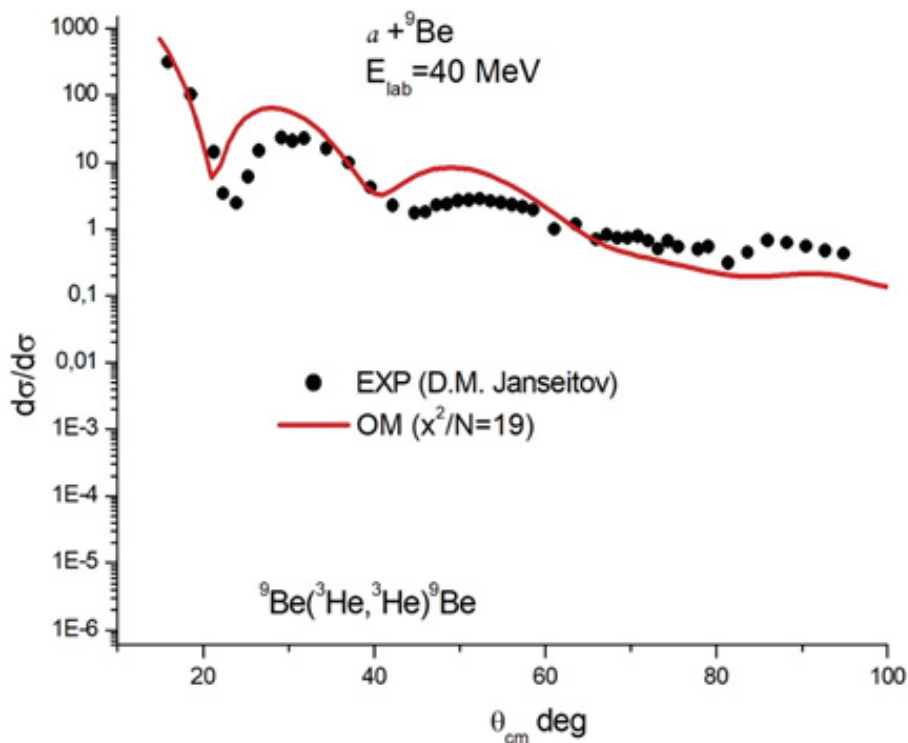
Сурет 1. С.М. Лукьянов т.б. авторлардың  $E_{lab}=30\text{MeV}$  энергиядағы эксперименттік деректерін талдау



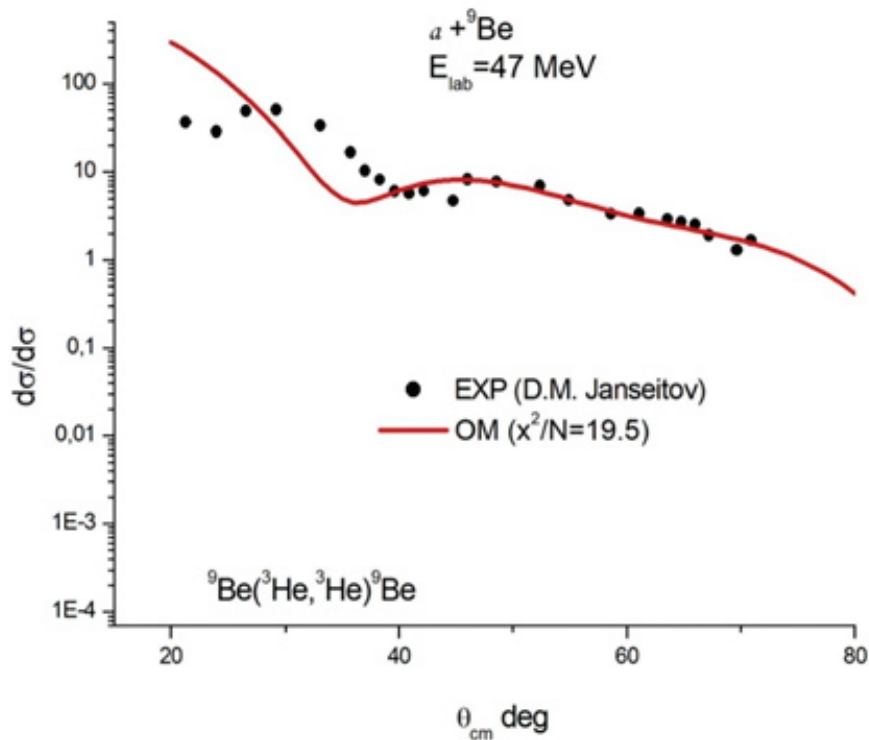
Сурет 2. А.С. Деникин т.б. авторлардың  $E_{lab}=30$  MeV энергиядағы эксперименттік деректерін талдау



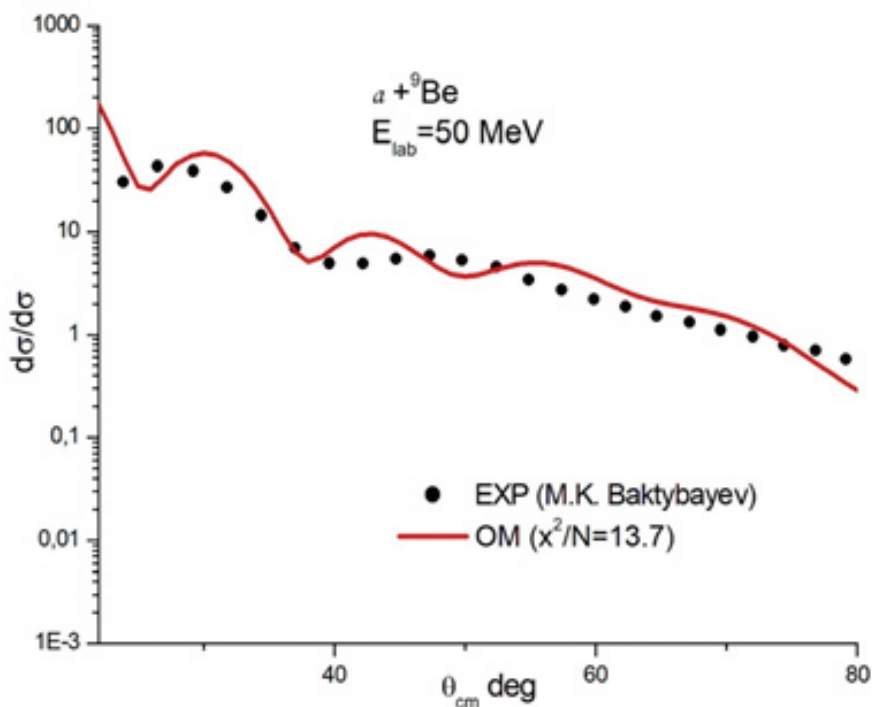
Сурет 3. А.С. Демьянова т.б. авторлардың  $E_{\text{lab}} = 30 \text{ MeV}$  энергиядағы эксперименттік деректерін талдау



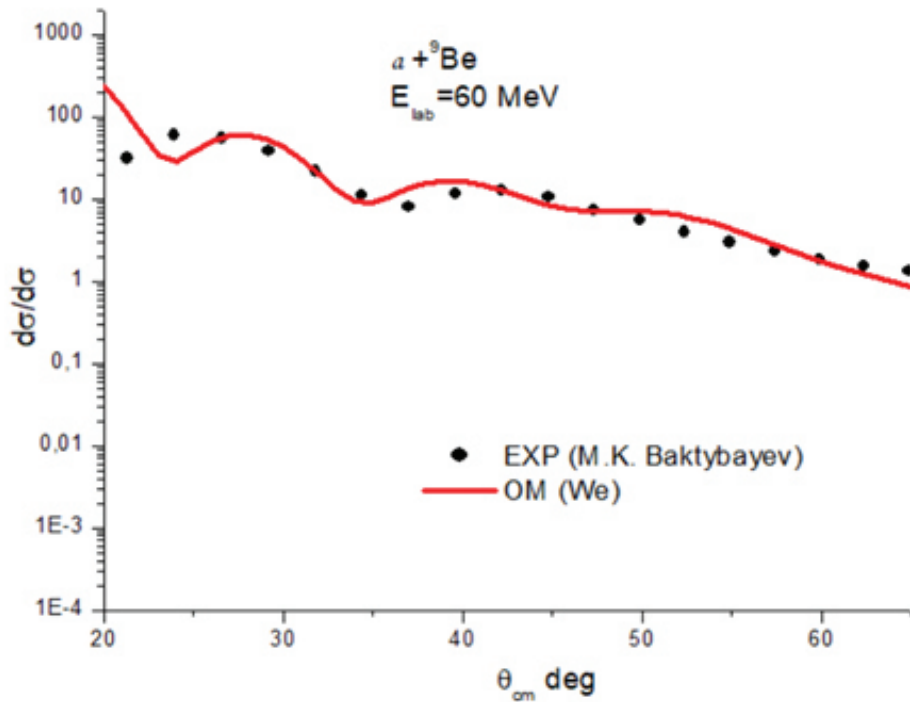
Сурет 4. Д.М. Жансейтов т.б. авторлардың  $E_{\text{lab}} = 40 \text{ MeV}$  энергиядағы эксперименттік деректерін талдау



Сурет 5. Д.М. Жансейтов т.б. авторлардың  $E_{\text{lab}}=47 \text{ MeV}$  энергиядағы эксперименттік деректерін талдау

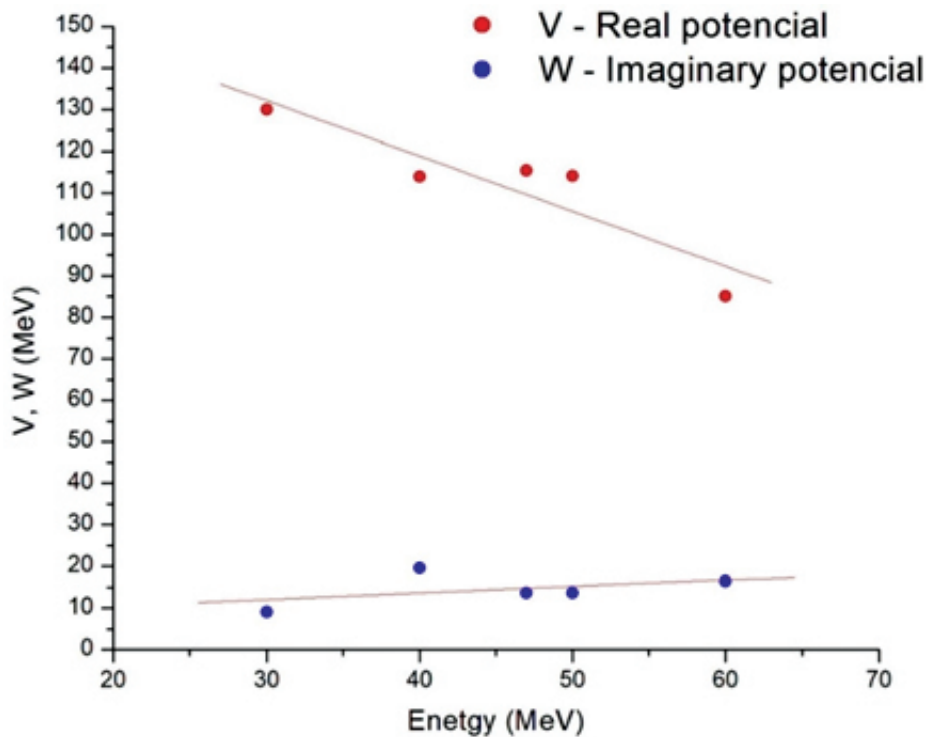


Сурет 6. М.К. Бақтыбаев т.б. авторлардың  $E_{\text{lab}}=50 \text{ MeV}$  энергиядағы эксперименттік деректерін талдау



Сурет 7. М.К. Бақтыбаев т.б. авторлардың  $E_{\text{lab}}=60$  MeV энергиядағы эксперименттік деректерін талдау

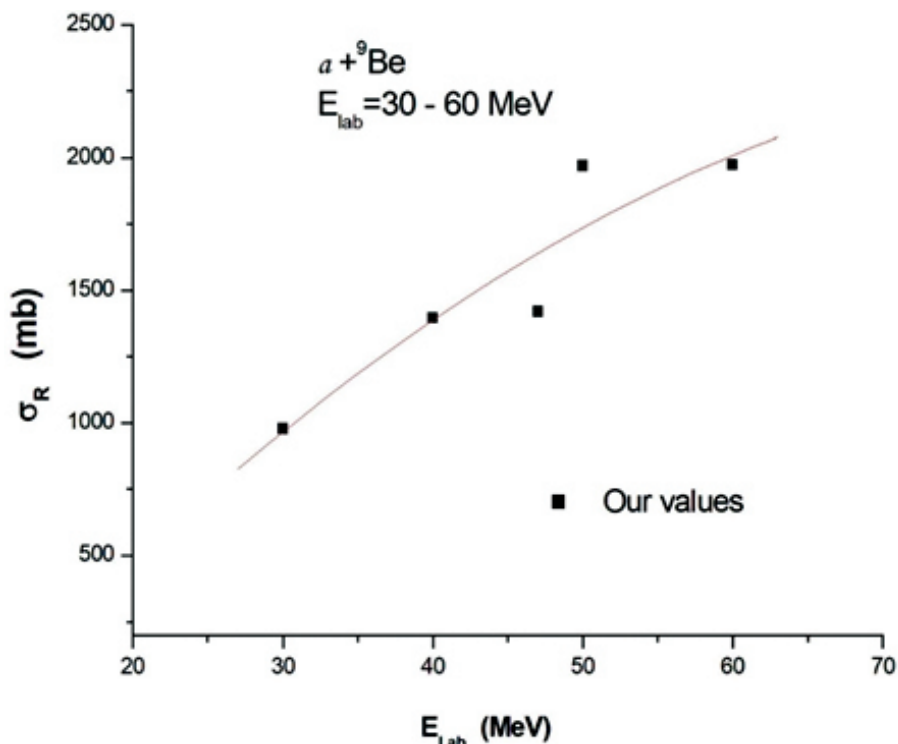
Талдаудың келесі сатысында оптикалық потенциалдың нақты және жорамал бөліктерінің үдеуші шоғыр ионының энергиясына тәуелділігі зерттелді. Зерттеу нәтижесі келесі 8-суретте көрсетілген.



Сурет 8. V - нақты және W - жорамал потенциалдарының энергетикалық тәуелділігі

$V$  – нақты және  $W$  – жорамал потенциалдарың энергетикалық тәуелділігі әдебиеттердегі жаһандық заңдылықпен үйлеседі.

Талдаудың соңғы кезеңінде  $\sigma_R$  – реакцияның толық қиманың энергетикалық тәуелділігі анықталды. Талдау нәтижелері бойынша  $E_{lab}=30-60$  MeV энергиялардағы алынған толық қиманың үдетуші шоғыр энергиясына тәуелділігі жаһандық заңдылықтармен сәйкес анықталды.



Сурет 9.  $\sigma$  - толық реакция қимасының үдетуші шоғыр энергиясына тәуелділігі

Анықталған толық қиманың энергетикалық тәуелділігі [8, 9] әдебиеттердегі заңдылықтармен үйлеседі.

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі (Грант № AP14871692 «10В+12С және 15Н+11В жүйелері үшін серпімді шашырау және алмасу механизмдерін эксперименттік және теориялық зерттеу») қаржыландырады.

### Қорытынды

$E_{lab}=30-60$  MeV энергия аралығында  $\alpha$  – бөлшектер шоғырының  ${}^9\text{Be}$  ядросынан шашырауын ОМ негізінде жүйелі талдау жасалды. Талдау нәтижесінде ортақ энергетикалық заңдылықты қанағаттандыратын оптикалық параметрлерінің оңтайлы мәндері табылды.

Екінші кезеңде  $\alpha+{}^9\text{Be}$  процесі үшін нақты және жорамал потенциалдардың үдетуші шоғыр энергиясына тәуелділігі анықталды.

Соңғы кезеңде  $\alpha+{}^9\text{Be}$  процесі үшін толық реакция қимасының энергетикалық тәуелділігі зерттелді. Төмен энергия аймағында анықталған заңдылықтар әдебиеттік заңдылықтарға сәйкес келеді, яғни жаһандық тәуелділікті қолдауға үлес қосады. Суық ядролық  ${}^9\text{Be}(\alpha,\alpha){}^9\text{Be}$  жүйесі үшін біздің анықтаған параметрлердің жоғары дәлдік мәндері ядролық астрофизикада жұлдыздардағы жеңіл ядролар реакциясының қимасын зерттеу кезінде қолданыс табады.

## Әдебиеттер тізімі

1. Hodgson P.E. The Nuclear optical model // Reports on Progress in Physics. – 1971. – Vol. 34. – P.765-819.
2. Perey C. M., Perey F. G. Compilation of phenomenological optical-model parameters 1954–1975 // Atomic data and nuclear data tables. – 1976. – Т. 17. – №. 1. – С. 1-101.
3. Baktybayev M.K., Burtebayev N., Duysabayev A., Duysabayev B.A., Zhuryrbayeva G.S., Sakuta S. B., Peterson R.J. (2000). An analysis of elastic and inelastic channels of  $^3\text{He}$  ions and  $\alpha$ -particles scatterings on  $^7\text{Li}$ ,  $^9\text{Be}$  and  $^{11}\text{B}$  nuclei at the energies of (10-20) MeV/nuc.
4. Janseitov D.M., Lukyanov S.M., Mendibayev K., Penionzhkevich Y.E., Skobelev N.K., Sobolev Y.G., Glagolev V. (2018). Investigation of the elastic and inelastic scattering of  $^3\text{He}$  from  $^9\text{Be}$  in the energy range 30–60 MeV. International Journal of Modern Physics E, 27(10), 1850089.
5. Lukyanov S.M., Harakeh M.N., Naumenko M.A., Xu Y., Trzaska W.H., Burjan V., Tuleushev Y. (2015). Some Insights into Cluster Structure of  $^9\text{Be}$  from  $^3\text{He}+^9\text{Be}$  Reaction. World Journal of Nuclear Science and Technology, 5(4), 265-273.
6. Demyanova A.S., Ogloblin A.A., Danilov A.N., Dmitriev S.V., Goncharov S.A., Burtebaev N., Kubono S. (2014). Spectroscopy of  $^9\text{Be}$  and observation of neutron halo structure in the states of positive parity rotational band. In EPJ Web of Conferences (Vol. 66, p. 02026). EDP Sciences.
7. Denikin A.S., Lukyanov S.M., Skobelev N.K., Sobolev Y.G., Voskoboynik E.I., Penionzhkevich Y.E., Tuleushev Y. (2015). Inelastic scattering and clusters transfer in  $^3\text{He}+^9\text{Be}$  reactions. Physics of Particles and Nuclei Letters, 12, 703-712.
8. Понкратенко О.А., Рудчик А.А., Рудчик А.Т., Степаненко Ю.М., Улещенко В.В., Ширма Ю.О. (2014). Глобальні потенціал і взаємодії для дифракційного розсіяння  $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$  та  $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$  у широкому діапазоні енергій. Ядерна фізика та енергетика, (15, № 3), 222-230.
- Soldatkhan D., Yergaliuly G., Amangeldi N., Mauyey B., Odsuren M., Ibraheem A.A., Hamada S. New Measurements and Theoretical Analysis for the  $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$ . Nuclear System // Brazilian Journal of Physics. – 2022. – Т. 52. – №. 5. – С. 1-10. <https://doi.org/10.1007/s13538-022-01153-0>
9. Satchler G.R. Folding models for elastic and inelastic scattering // In book: Heavy-Ion Collisions. – Berlin, Heidelberg: Springer, 1982. – P. 25-43.
10. Ходгсон П.Е., Оптическая модель упругого рассеяния / пер. с англ.– М.:Атомиздат, 1966. –232 с.
11. Амангелді Н., Солдатхан Д., Ергалиұлы Ф. Determination of elastic scattering potential parameter at energies of 20, 24 MeV for the nuclear system  $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$  // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия Физика. Астрономия. – 2020. – №. 1. – С. 78-83.
12. Солдатхан, Д., Амангелды, Н., Балтабеков, А. С., Ергалиұлы, Ф. (2022). Investigation of the energy dependence of the interaction potentials of the  $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$  nuclear system with a semi-microscopic method. Eurasian Physical Technical Journal, 19(3 (41)), 39-44.
13. Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Алимов Д.К., Зазулин Д.М., Джансейтов Д.М., Мухамеджанов Е.С. Измерение дифференциальных сечений процессов  $^{14}\text{N}(^3\text{He}, ^3\text{He})^{14}\text{N}$  и  $^{14}\text{N}(^3\text{He}, \text{d})^{15}\text{O}$  при энергии 50 и 60 MeV // Использование ядерно-физических методов в науке и технике. 66-я международная научная конференция «Ядро-2016». - Саратов, 2016. - С.56.
14. Thompson I.J., Nunes F.M. Nuclear Reactions for AstroPhysics: Principles, Calculation, and Applications of Low-Energy Reactions. – Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2009. – 466 p.



Н. Амангелды<sup>1,2</sup>, Д. Солдатхан<sup>1</sup>, Д. Шаудирбаева<sup>1</sup>, А. Ануар<sup>1</sup>, Л. Касымханова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

<sup>2</sup>Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

### Глобальные закономерности упругого рассеяния при столкновении $\alpha$ -частиц с ядром ${}^9\text{Be}$

**Аннотация.** В статье проведено исследование характеристики экспериментальных данных сечения упругого рассеяния в низкоэнергетическом диапазоне ядерной системы  $\alpha+{}^9\text{Be}$ . Установлены общие закономерности, зависящие от изменения энергии ускоренных ионов параметров полученных сечений. На основе анализа в рамках оптической модели (ОМ) обнаружены энергетически зависимые оптические потенциалы взаимодействия в широком диапазоне энергий. Энергетическая закономерность потенциалов, выявленная в результате систематического анализа, позволяет с достаточной точностью прогнозировать сечение процессов при энергиях, при которых экспериментальные измерения не проводились. Потенциал, который является комплексной функцией взаимодействия между ядрами, является эмпирическим измерением, которое описывает взаимодействие в процессе рассеяния. Исследования построения зависимости потенциала от внешних факторов необходимо проводить индивидуально для каждой ядерной системы. Такие анализы, проводимые с целью повышения точности феноменологических теорий, должны опираться на большой массив экспериментальных данных. Для уточнения правдивости результатов феноменологических подходов теоретически правильнее будет определить глобальные закономерности потенциалов и энергетических зависимостей полного реакционного сечения. В статье определена энергетическая зависимость потенциалов и полного сечения реакции на основе систематического анализа экспериментального набора данных в интервале энергии лабораторного  $E_{\text{lab}}=30 - 60$  МэВ для процесса  $\alpha+{}^9\text{Be}$ . Найдены оптимальные значения параметров сечения, удовлетворяющие глобальным закономерностям, зависящим от энергии ускоряющего пучка.

**Ключевые слова:** упругое рассеяние, реальный и мнимый потенциал, Вудс-Саксон, феноменологический анализ.

N. Amangeldi<sup>1,2</sup>, D. Soldatkhan<sup>1</sup>, D. Shaudirbayeva<sup>1</sup>, A. Anuar<sup>1</sup>, L. Kasymkhanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

<sup>2</sup>Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan

### Global patterns of elastic scattering in the collision of $\alpha$ - particles with a ${}^9\text{Be}$ nucleus

**Abstract.** The article investigates the characteristics of the experimental data of the elastic scattering cross section in the low-energy range of the  $\alpha+{}^9\text{Be}$  nuclear system. General regularities depending on the change in the energy of accelerated ions of the parameters of the obtained cross sections are established. Based on the analysis in the framework of the optical model (OM), energy-dependent optical interaction potentials in a wide range of energies were found. The energy regularity of potentials, revealed as a result of systematic analysis, makes it possible to predict with sufficient accuracy the cross-section of processes at energies at which experimental measurements were not carried out. The potential, which is a complex function of the interaction between nuclei, is an empirical measurement that describes the interaction in the scattering process. Studies of the dependence of the potential on external factors should be carried out individually for each nuclear system. Such analyses carried out in order to improve the accuracy of phenomenological theories should be based on a large array of experimental data. To clarify the truthfulness of the results of phenomenological approaches, it would be theoretically more correct to determine the global patterns of potentials and energy dependences of the full reaction cross-section. The article defines the energy dependence of the potentials and the total cross-section of the reaction based on a systematic analysis of the experimental data set in the energy range of laboratory  $E_{\text{lab}}=30 - 60$  MeV for the  $\alpha+{}^9\text{Be}$  process. Optimal values of the cross-section parameters satisfying global laws depending on the energy of the accelerating beam are found.

**Keywords:** Elastic scattering, real and imaginary potential, Woods-Saxon, phenomenological analysis

## References

1. Hodgson P.E. The Nuclear optical model // Reports on Progress in Physics. – 1971. – Vol. 34. – P.765-819.
2. Perey C. M., Perey F. G. Compilation of phenomenological optical-model parameters 1954–1975 // Atomic data and nuclear data tables. – 1976. – T. 17. – №. 1. – C. 1-101.
3. Baktybayev M.K., Burtebayev N., Duysebayev A., Duysebayev B.A., Zhuryrbayeva G.S., Sakuta S. B., Peterson R.J. (2000). An analysis of elastic and inelastic channels of <sup>3</sup>He ions and  $\alpha$ -particles scatterings on <sup>7</sup>Li, <sup>9</sup>Be and <sup>11</sup>B nuclei at the energies of (10-20) MeV/nuc.
4. Janseitov D.M., Lukyanov S.M., Mendibayev K., Penionzhkevich Y.E., Skobelev N.K., Sobolev Y.G., Glagolev V. (2018). Investigation of the elastic and inelastic scattering of <sup>3</sup>He from <sup>9</sup>Be in the energy range 30–60 MeV. International Journal of Modern Physics E, 27(10), 1850089.
5. Lukyanov S.M., Harakeh M.N., Naumenko M.A., Xu Y., Trzaska W.H., Burjan V., Tuleushev Y. (2015). Some Insights into Cluster Structure of <sup>9</sup>Be from <sup>3</sup>He+<sup>9</sup>Be Reaction. World Journal of Nuclear Science and Technology, 5(4), 265-273.
6. Demyanova A.S., Ogloblin A.A., Danilov A.N., Dmitriev S.V., Goncharov S.A., Burtebaev N., Kubono S. (2014). Spectroscopy of <sup>9</sup>Be and observation of neutron halo structure in the states of positive parity rotational band. In EPJ Web of Conferences (Vol. 66, p. 02026). EDP Sciences.
7. Denikin A.S., Lukyanov S.M., Skobelev N.K., Sobolev Y.G., Voskoboynik E.I., Penionzhkevich Y.E., Tuleushev Y. (2015). Inelastic scattering and clusters transfer in <sup>34</sup>He+<sup>9</sup>Be reactions. Physics of Particles and Nuclei Letters, 12, 703-712.
8. Ponkratenko O. A., Rudyk A. A., Rudchik A. T., Stepanenko Yu. m., Aleshchenko V. V., shirma Yu. O. (2014). Global potential for using <sup>16</sup>O+<sup>12</sup>C and <sup>12</sup>s+<sup>12</sup> Cu diffraction modes in a wide energy range. Nuclear physics and energy, (15, № 3), 222-230. Soldatkhan D., Yergaliuly G., Amangeldi N., Mauvey B., Odsuren M., Ibraheem A.A., Hamada S. New Measurements and Theoretical Analysis for the <sup>16</sup>O+<sup>12</sup>C. Nuclear System // Brazilian Journal of Physics. – 2022. – T. 52. – №. 5. – C. 1-10. <https://doi.org/10.1007/s13538-022-01153-0>
9. Satchler G.R. Folding models for elastic and inelastic scattering // In book: Heavy-Ion Collisions. – Berlin, Heidelberg: Springer, 1982. – P. 25-43.
10. Hodgson P.E. Optical model of elastic scattering / trans. from English– M.: Atomizdat, 1966. – 232 p.
11. Amangeldi N., Soldatkhan D., Ergaliuly G. Determination of elastic scattering potential parameter at energies of 20, 24 MeV for the nuclear system <sup>16</sup>O+<sup>12</sup>S // Vestnik L.N. Gumilyov Eurasian National University. Physics Series. Astronomiya. – 2020. – №. 1. – S. 78-83.
12. Amangeldi N., Soldatkhan D., Baltabekov A., Ergaliuly G. (2022). Investigation of the energy dependence of the interaction potentials of the <sup>16</sup>O+<sup>12</sup>C nuclear system with a semi-microscopic method. Eurasian Physical Technical Journal, 19(3 (41)), 39-44.
13. Burtebaev N., Kerimkulov Zh.K., Alimov D.K., Zazulin D.M., Dzhansheytoev D.M., Mukhamedzhanov E.S.. Measurement of differential cross sections of processes <sup>14</sup>N(<sup>3</sup>Ne,<sup>3</sup>Ne)<sup>14</sup>N and <sup>14</sup>N(<sup>3</sup>Ne,d)<sup>15</sup>O at energies of 50 and 60 MeV // “Use of nuclear physics methods in power engineering”. Science and Technology” 66th International Scientific Conference “Core-2016”. - Sarov, 2016. - p.56.
14. Thompson I.J., Nunes F.M. Nuclear Reactions for Astrophysics: Principles, Calculation, and Applications of Low-Energy Reactions. – Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2009. – 466 p.

**Авторлар туралы ақпарат:**

*Н. Амангелді* – PhD, қауымдастырылған профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

*Д. Солдатхан* – PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

*Д.С. Шәудірбаева* – магистрант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

*А.О. Әнуар* – докторант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

*Л.Б. Қасымханова* – магистрант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

*Н. Амангельды* – PhD, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

*Д. Солдатхан* – PhD, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

*Д.С. Шәудирбаева* – магистрант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

*А.О. Ануар* – докторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

*Л.Б. Қасымханова* – магистрант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

*N. Amangeldy* – PhD, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

*D. Soldatkhan* – PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

*D. Shaudirbayeva* – Master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

*A. Anuar* – PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

*L. Kassymkhanova* – Master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

**Б.Б. Абдуалиев, Б.М. Сатанова\*, Ф.У. Абуова, Г.М. Аралбаева**

*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,*

*Астана, Қазақстан*

*(E-mail: \*clever\_s.balzhan@mail.ru)*

---

## **Табиғи модифицирленген сорбенттерді қолдана отырып, техногендік және гидроминералды шикізаттан уран алудың сорбциялық технологиясы**

---

**Аңдатпа.** Бұл жұмыс табиғи модификацияланған сорбенттерді қолдана отырып, техногендік және гидроминералды шикізаттан уран алудың сорғылық технологиясын зерттеуге арналған. Зерттеудің негізгі мақсаты-уранды өндіру және өңдеу саласындағы осы технологияның тиімділігі мен перспективасын анықтау.

Жұмыста табиғи түрлендірілген сорбенттердің әртүрлі түрлеріне, олардың сорғылық сыйымдылығына және уранның ерекшелігіне талдау жасалады. Бұл технологияның экологиялық аспектілеріне ерекше назар аударылады, өйткені табиғи модификацияланған сорбенттерді қолдану қоршаған ортаға теріс әсерді азайтуға мүмкіндік береді.

Сондай-ақ, жұмыста сорбенттерді қалпына келтіру және қайта пайдалану әдістері қарастырылады, бұл осы технологияның ресурстық тиімділігіне ықпал етеді. Сорғылау технологияны қолданудың экономикалық пайдасы уран өндіру мен өңдеуге кететін шығындардың төмендеуін ескере отырып, жұмыста да қарастырылады.

Зерттеу нәтижелері табиғи модификацияланған сорбенттерді қолдана отырып, уран алудың сорбциялық технологиясы өнеркәсіптік қолдану үшін жоғары тиімділік пен перспективаға ие екенін көрсетеді. Жүйелерді жақсарту және сорбенттердің жаңа түрлерін әзірлеу мақсатында осы салада одан әрі зерттеулер мен инновациялардың қажеттілігі атап өтілді.

Жұмыс тау-кен өнеркәсібі және экологиялық қауіпсіздік саласындағы мамандар үшін практикалық және ғылыми құндылықты білдіреді, сонымен қатар осы саладағы әрі қарайғы зерттеулер мен әзірлемелердің негізі ретінде пайдаланылуы мүмкін.

**Түйін сөздер:** сорғылау, десорбция, сорбент, элюент, элюат, масс-спектрометрия.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-6836-2023-143-2-36-43](https://doi.org/10.32523/2616-6836-2023-143-2-36-43)

---

### **1. Кіріспе**

Гидроминералды шикізат болашақта металдарды, соның ішінде уранды сорғылау әдістермен алу үшін таптырмас шикізат көзі бола алады [1]. Бұл жұмыста уранды жер асты суынан сорғылау үшін, құрамында 246 мкг/дм<sup>3</sup> Алакөл кен орнының табиғи шунгиті (Қазақстан), техногендік шыққан фосфогипс (кальций сульфат гидраты) олардың негізіндегі композиция және олардың модификацияланған өнімдері пайдаланылды. Табиғи шунгитті өзгерту, фосфогипс пен шунгит негізінде композиция алу және

оның модификациясы. Модификаторлар ретінде мыс, никель, мырыш гидроксидтері, сондай-ақ трибутилфосфат қолданылады. Тәжірбелік зерттеулер көрсеткендей, модификацияланған шунгит түйіршіктелгеннен кейін жер асты суынан сыналған Судан алуға мүмкіндік береді динамикалық сорғылау режимі уранның шамамен 66% құрайды. «Фосфогипс-шунгит» композициясының түйіршіктері және оны өзгерту өнімдері ~88-ден бастап уран шығаруды қамтамасыз ететін жер асты суынан уранды статикалық сорбциялау режимінде құрамында гитлері бар бірқатар шун сорбенттері алынды және сыналды ~99,5 %.

Уранның гидроминералды көздері ең үлкен мұхит суларында назар аударады мұхит суының үлкен көлемі және ондағы уранның концентрациясы (шамамен 3 мкг/дм<sup>3</sup>) болады. Бірқатар елдер көл суларынан уран алуға тырысуда. Қазіргі таңда көптеген мемлекеттерде уран концентрациясы бірнеше 10 –даған мкг/дм<sup>3</sup>-тен 1000 мкг/дм<sup>3</sup>-ке дейінгі көлдердің саны тіркелген болып табылады [3]. Салыстыру үшін уранды жерасты шаймалау әдісімен алу кезінде жерасты кендерін шаймалау өнімді уранды сорғылау жүйесіне түсетін шаймалау кезеңіндегі ерітінділер ескеріледі уран концентрациясы 10000 мкг/дм<sup>3</sup> жетеді. Соңдықтан уранның осы концентрациясы бар көлдерді арзан шикізат ретінде қарастыруға болады. Мақалада зерттеу нәтижелері келтірілген мг/дм ұстайтын жерасты суынан уранды сорғылау кезеңі келтірілген [4].

Шунгит- құрамында минерал көміртегі [4], түрлі қоспалармен құрамы ластанған кремний, алюминий, темір және басқада элементтер кездеседі. Бұл минерал орынды алады шыны және кристалды формалар арасында осы және өзге де белгілерін анықтайтын көміртегі болып келеді. Шунгитаның негізгі құрылымдық элементтері глобулалар болып табылады сфералық және де эллипсоидты көміртегі мөлшері орта есеппен 10 нм түзілімдер[4], оның ішінде бос орындардың болуы анық [4]. Пайдаланылған Алакөл кен орнының шунгитінің жұмысында -0,1 мм қолданылды. Алакөл кен орнының шунгит қоры жүздеген миллион тоннаға бағаланады. Алакөл кен орнының шунгитінің химиялық құрамы және фосфогипса, жұмыста қолданылған, 1-кестеде келтірілген [5].

**Кесте 1.** Алакөл кен орнының шунгитінің химиялық құрамы [5]

Сорбент	Құрамы, салмақ							
	C	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K
Шунгит	10,00	28,02	7,77	4,52	1,16	1,07	1,28	1,75

## 2. Әдістері

1. Табиғатта кездесетін табиғи түрдегі шунгит Алакөл көлінің суынан уранды сорғылау үшін пайдаланылды және оның химиялық құрамы 1- кестеде келтірілген. Алакөл көлінің суынан тұрақты жағдайда уранды сорғылау үшін ірі түйіршікті шунгит (+0,6–1,1 мм) қолданамыз. Алакөл суы уран тұрақтысын арттыру мақсатында алдын-ала буландырып аламыз. 0,6 г салмақпен шунгитінің ілгіші көрсетілген суға 0,6 дм<sup>3</sup> көлемінде орналастырылады. Сорбенттің ерітіндімен жанасу уақыты 2 сағатты құрайды, ерітіндінің температурасы шамамен 22 °С. Сорғылау жүйесінде сорбентпен су үнемі механикалық араластырғышпен араластырылды. 2 сағат өткеннен кейін су қорғалды және одан уранның құрамын спектрлік әдіспен анықтау үшін 1,2 см<sup>3</sup> декантат алынды. Ал келесі суға қосымша салмағы 0,5 г табиғи шунгиттің жаңа бөлігі орналастырылды[4]. 2 г Шунгиттен алынған су да тұрақты араластырумен 2 сағат ұсталды. Су шунгитпен тұндырылғаннан кейін уранның құрамына талдау жасау үшін одан тағы 1,2 см<sup>3</sup> декантат алынды. Тәжірбиенің соңғы сатысында қалған сорғылау суына шунгиттің тағы 0,6 г жаңа бөлігі қосылды. Жоғарыда көрсетілген жағдайларда 1,6 г шунгиттен су сақталады, содан кейін уранның құрамын анықтау үшін одан 1,2 см<sup>3</sup> декантат алынды.

2. Жер асты шаймалау әдісінде модификациялар жұмыс деректеріне сәйкес мыс (II) және никель гидроксидтерін модификациялаушы агенттер ретінде пайдаланды. Гидроксидтер сорбенттердің белсендірілген бетіне жағылды.

Ол үшін салмағы 1,5 г табиғи сорбенттің ілмегі шыны ыдысқа қойылды, оған күкірт қышқылының 6 см<sup>3</sup> 3М ерітіндісі құйылды. Келесі жүйеде күкірт қышқылының қалған ерітіндісі шыны ыдыстан декантация арқылы алынып тасталды, ал алынған сорбентке 2,3 см<sup>3</sup> қаныққан мыс (II) және никель нитрат ерітіндісі құйылды[6]. Әрі қарай, шынының құрамына 600 г/дм<sup>3</sup> тұрақтысы бар 2,3 см<sup>3</sup> каустикалық натрий құйылды. Сорбенттердің бетіне отырғызылмаған гидроксидтердің суспензиясы тазартылған суды пайдаланып декантацияланды. Осы модификация нәтижесінде алынған сорбент бөлме температурасында кептірілді. Әрі қарай, алынған модификацияланған цеолит және шунгит көл суынан уранды сорғылау үшін қолданылды.

### 3. Нәтижелер және талқылау

Алакөл көлінің суынан уранды сорғылау бойынша ұқсас тәжірибелер цеолит көмегімен жасалған.

Осы тәжірибенің нәтижелері кестеде келтірілген. 2-Кестеде көрсетілген мәліметтерден көріп отырғаныңыздай.

1-тәжірибеде уранды шунгитке шығару ~76 % құрады (кейінгі тәжірибелерде бұл көрсеткіштер ~96% - ға дейін және одан әрі қарай ~82,6% - ға дейін өзгеріп отырды);

4-тәжірибеде цеолиттен уранды бөліп алу 89% дейінгі мәнге ие болды (кейінгі тәжірибелерде бұл көрсеткіш[4] іс жүзінде тұрақты болып қалды).

Кестеде ұсынылған. 1- деректер Алакөл көлінің суынан уран сорбты болған кезде уранды сорбентке іс жүзінде елеулі түрде алу салмағы 1,5 г шунгит немесе цеолит ілмектерін және 3 сағат сорғылау ұзақтығын пайдаланған кезде ғана қол жеткізілетінін көрсетеді. Мұндай жағдайларда аталған сорбенттер Алакөл көлінің суынан уранның шамамен 92% - ға алады

Кесте 2. Табиғи шунгит пен цеолитті пайдалана отырып, уранды сорғылау нәтижелері

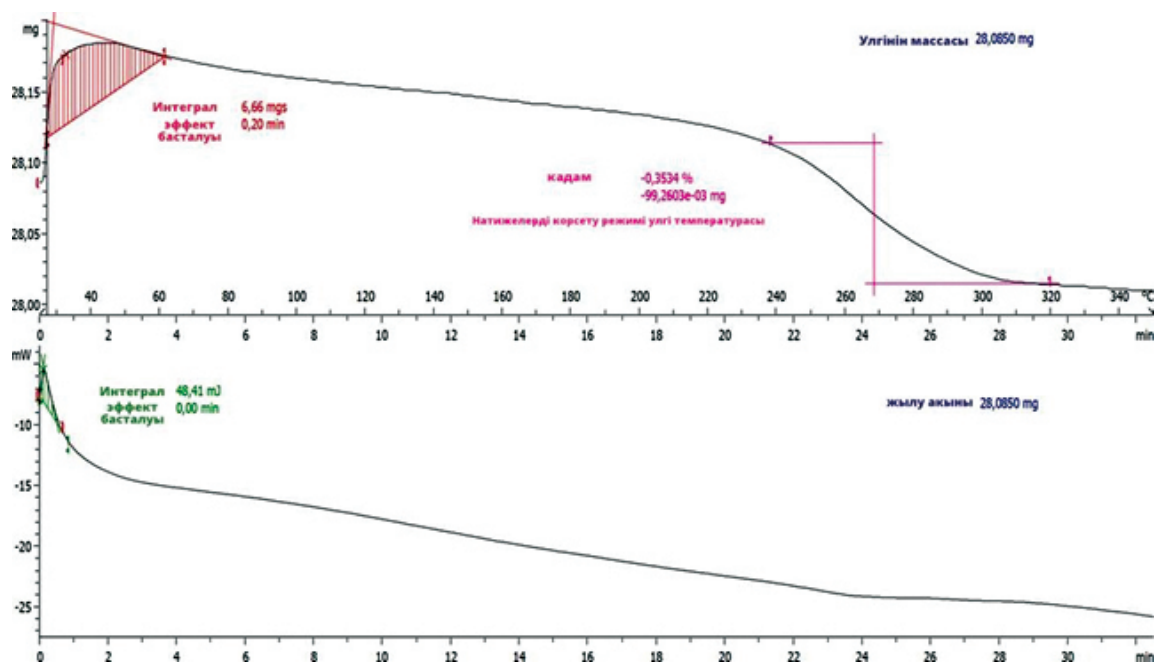
№ тәжірибе	Уақыты, сағ	Шунгит, г	Уран мөлшері, мкг/дм <sup>3</sup>	Уранның жоғалуы, мкг	Сорбенттен уран алу	
					мкг	%
Шунгит						
1	3	1,5	6,42	3,21	17,9	76,96
2	3	1,0	4,98	2,46	18,6	95,89
3	3	1,5	3,14	1,57	19,5	82,6
Цеолит						
4	3	1,5	3,82	1,91	19,2	88,77
5	3	1,0	3,83	1,91	19,2	80,65
6	3	1,5	3,58	1,79	19,3	90,92

Осы сорбенттерді тұтынуды және сорғылау ұзақтығын одан әрі арттыру қаржылық тұрғыдан мүмкін емес, өйткені ол сорбентте уран өндіруді іс жүзінде арттырмайды.

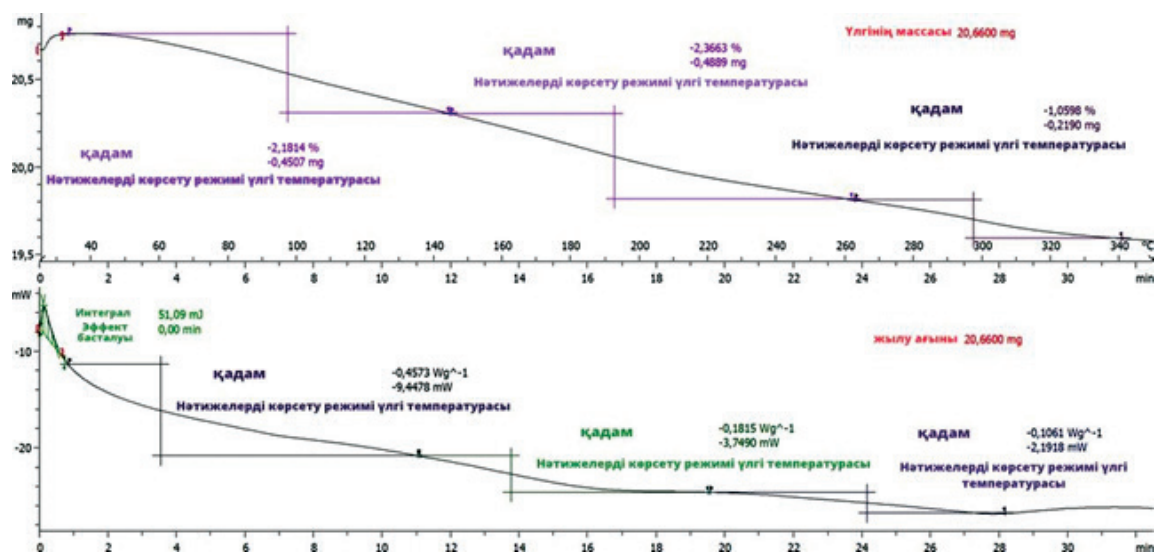
Иониттің сорғылау қабілетін модификациялау арқылы арттыру мақсатында жұмыстың келесі кезеңінде ионды модификациялау әдісін таңдау және модификациядан кейін оның сорғылық қабілетін бағалау бойынша талап - арыз зерттеулері жүргізілді. Зерттеу деректері шунгит көмегімен орындалды.

Кестеде 2 модификацияланған шунгит пен цеолитпен уранды сорғылау бойынша тәжірибелердің салыстырмалы нәтижелеріде көрсетілген (жоғарыда айтылған модификациялан баған шунгит пен цеолитті пайдаланумен бірдей сорғылау режимі қолданылған).

Кестеде көрсетілген мәліметтерден көріп отырғаныңыздай. 3 сағат уақыт өте келе модификацияланған шунгитке уран алу табиғи түрде артады, ал 2 сағат ішінде бұл көрсеткіш 20% - ға артады.



Сурет 1. Шунгитті термогравиметриялық талдау нәтижелері



Сурет 2. Цеолиттің термогравиметриялық талдауының нәтижелері

Яғни, кестеде келтірілген тұрақты мәндердегі көл суынан уранды сорғылау үшін алдын ала белсендірілген шунгит пен цеолитті қолдану көл суынан уранды сорғылау үшін табиғи сорбенттерді пайдаланумен салыстырғанда уранның сорбентке шығарылуын 92,96% деңгейінде арттыруға мүмкіндік тудыратынына көз жеткізуге болады. Салыстыру үшін модификацияланбаған шунгит пен цеолит көл суынан уранды тек 92% деңгейінде алуға мүмкіндік береді.

**Кесте 3.** Күкірт қышқылымен белсендірілген модификацияланған цеолит пен шунгитті пайдалана отырып, уранды сорғылау нәтижелері

№ тәжірибе	Уақыты, сағ	Шунгит, г	Уран мөлшері, мкг/дм <sup>3</sup>	Уранның жоғалуы, мкг	Сорбенттен уран алу	
					мкг	%
<b>Шунгит</b>						
1	2	0,6	6,38	3,18	17,96	88,4
2	3	1,0	5,13	2,56	18,58	95,6
3	2	1,6	1,77	0,85	20,29	96,8
<b>Цеолит</b>						
4	2	1,5	3,48	1,74	19,40	88,76
5	2	1,0	8,19	4,09	17,05	83,65
6	2	1,5	3,85	1,92	19,22	93,66

Кестеде келтірілген деректерді талдау. 3-кестеде көрсетеді:

- 1) Табиғи шунгит Алакөл кен орнының суынан уранның 88,4% – на дейін, ал модификацияланған шунгит уранның 96,88% - на дейін сорғылауға мүмкіндік береді;
- 2) Табиғи цеолит Алакөл кен орнының суынан уранның 88,76% – на дейін, ал модификацияланған цеолит-уранның 93,66% - на дейін соруға мүмкіндік тудырады.

#### 4. Қорытынды

Табиғи модификацияланған сорбенттерді пайдалана отырып, техногендік және гидроминералдық шикізаттан уран алудың сорғылау технологиясы ядролық энергетика және ядролық отын өндіруге арналған шикізат базасы саласындағы перспективалық бағытты білдіреді. Осы саладағы зерттеулер мен әзірлемелер барысында келесі нәтижелер мен қорытындыларға қол жеткізілді:

1. Табиғи түрлендірілген сорбенттер уран алу жүйесінің тиімділігін жақсартуға мүмкіндік беретін бірегей қасиеттерге ие. Табиғи сорбенттердің химиялық құрамын, құрылымын және беткі қасиеттерін өзгерту олардың селективтілігін және уранды ұстау қабілетін арттыруға көмектеседі.

2. Сорбция технологиясы уранды әртүрлі шикізат көздерінен, соның ішінде өндірістің техногендік қалдықтарынан және гидроминералды ерітінділерден алуға мүмкіндік береді. Бұл бұрын пайдаланылмаған ресурстарды пайдалану мүмкіндігін және қоршаған ортаға теріс әсерді азайтуды қамтамасыз етеді.

3. Сорбция жүйесін оңтайландыру және уран алудың оңтайлы жағдайларын таңдау технологияның жоғары тиімділігі мен экономикалық орындылығын қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Оңтайлы модификацияланған сорбенттерді таңдау, процесстің оңтайлы жүйелерін анықтау және сорбенттерді қалпына келтірудің тиімді әдістерін әзірлеу уранды алудың сорғылық технологиясын сәтті жүзеге асырудың негізгі аспектілері болып табылады.

4. Табиғи модификацияланған сорбенттерді қолдана отырып, сорғылық технологияны қолдану энергетикалық қауіпсіздікті жақсартуға және уран импортына тәуелділікті



азайтуға әкеледі. Бұл көмірқышқыл газының төмен шығарындылары бар электр энергиясының маңызды көзі болып табылатын атом энергетикасының дамуына ықпал етеді.

### Әдебиеттер тізімі

- 1 Савченко Г.А., Евтеева Л.И., Троценко Е.М., Курбатов Л.В., Зинченко В.М., Патрин А.П. Влияние солевого состава продуктивных растворов на сорбцию урана сильноосновными анионитами. – Алматы: Бастау, 2005. – С. 204.
- 2 Дуйсебаев Б.О., Малимбаев М.С., Сайкиева С.Х., Умбеткулова М.У. Исследование по получению химического концентрата природного урана сорбционно-осадительной технологией. – Алматы: Бастау, 2005. – С. 194-198.
- 3 Филиппов А.П., Кротков В.В., Нестеров Ю.В. Сернокислотное подземное выщелачивание урана с использованием  $\text{HNO}_2$  в качестве окислителя// Актуальные проблемы урановой промышленности: сб. докл. III междунар. научно-практ. конф. – Алматы: Бастау, 2005. – С. 71-76.
- 4 Берикболов Б.Р., Александров Ю.С., Вершков А.Ф. Основные результаты проведения полномасштабного опыта подземного выщелачивания на месторождении Акдала// Актуальные проблемы урановой промышленности: сб. докл. III междунар. научно-практ. конф. – Алматы: Бастау, 2005. – С. 127-137.
- 5 Рычков В.Н., Смирнов А.Л., Цевин А.П., Смышляев В.Ю., Горохов Д.С. Использование комплексобразующих полиамфолитов для извлечения урана из продуктивных растворов подземного выщелачивания. – Алматы: Бастау, 2005. – С. 218-224.
- 6 Камалов М.П., Садыков М.Ж., Канаев А.Т., Ускенбаева А.Ж. Интенсификация процессов извлечения урана при ПСВ с использованием окислителей. Алматы: Бастау, 2005. – С. 247-252.
- 7 Суражский Д. Я. Методы поисков и разведки месторождений урана. – М., 1960.
- 8 Прибытков П. В. Основные принципы классификации промышленных урановых руд // «Атомная энергия» СССР, т. 2, М., 1974.
- 9 Смирнов Ю.В., Ефремов З.И., Скороваров Д.И., Иванов Г.Ф. Гидрометаллургическая переработка ураново-рудного сырья. – М.: Атомиздат, 1979. – 280 с.
- 10 Колчина О.П. Извлечение и очистка редких металлов. – М.: Недра, 1960. – С. 128-145.

**Б.Б. Абдуалиев, Б.М. Сатанова, Ф.У. Абуова, Г.М. Аралбаева**

*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*

### **Сорбционная технология получения урана из техногенного и гидроминерального сырья с применением природных модифицированных сорбентов**

**Аннотация.** Данная работа посвящена изучению сорбционной технологии получения урана из техногенного и гидроминерального сырья с использованием природных модифицированных сорбентов. Основная цель исследования - определить эффективность и перспективы этой технологии в области добычи и переработки урана.

В работе проводится анализ различных видов естественно модифицированных сорбентов, их сорбционной емкости и специфичности урана. Особое внимание уделяется экологическим аспектам этой технологии, поскольку использование природных модифицированных сорбентов позволяет минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

В работе также рассматриваются методы восстановления и повторного использования сорбентов, что способствует ресурсной эффективности данной технологии. Экономические выгоды от применения сорбционной технологии также рассматриваются в работе с учетом снижения затрат на добычу и переработку урана.

Результаты исследования показывают, что сорбционная технология получения урана с использованием природных модифицированных сорбентов имеет высокую эффективность и перспективу для промышленного применения. Отмечена необходимость дальнейших исследований и инноваций в этой области с целью улучшения процессов и разработки новых видов сорбентов.

Работа представляет собой практическую и научную ценность для специалистов в области горнодобывающей промышленности и экологической безопасности, а также может быть использована в качестве основы для дальнейших исследований и разработок в этой области.

**Ключевые слова:** сорбция, десорбция, сорбент, элюент, элюат, масс-спектрометрия.

**B. Abdualiyev, B. Satanova, F. Abuova, G. Aralbayeva**  
L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

### **Sorption technology for obtaining uranium from technogenic and hydromineral raw materials using natural modified sorbents**

**Abstract.** This work is devoted to the study of sorption technology for obtaining uranium from technogenic and hydromineral raw materials using natural modified sorbents. The main purpose of the study is to determine the effectiveness and prospects of this technology in the field of uranium mining and processing.

The paper analyzes various types of naturally modified sorbents, their sorption capacity and the specificity of uranium. Special attention is paid to the environmental aspects of this technology, since the use of natural modified sorbents minimizes the negative impact on the environment.

The paper also discusses methods of recovery and reuse of sorbents, which contributes to the resource efficiency of this technology. The economic benefits of the use of sorption technology are also considered in the work, taking into account the reduction of costs for the extraction and processing of uranium.

The results of the study show that the sorption technology for producing uranium using naturally modified sorbents has high efficiency and prospects for industrial applications. The need for further research and innovation in this area is noted in order to improve processes and develop new types of sorbents.

The work is of practical and scientific value for specialists in the field of mining and environmental safety, and can also be used as a basis for further research and development in this area.

**Keywords:** sorption, desorption, sorbent, eluent, eluate, mass spectrometry.

### **References**

- 1 Savchenko G.A., Yevteyeva L.I., Trotsenko Ye.M., Kurbatov L.V., Zinchenko V.M., Patrín A.P. The influence of the salt composition of productive solutions on the sorption of uranium by strongly basic anionites (on the example of mining uranium deposits of the Shu-Sarysu uranium ore province). – Almaty: Bastau, 2005. – p. 204.
- 2 Duissebáyev B.O., Malimbáyev M.S., Saikiyeva S.H., Umbetkulova M.U. Research on obtaining a chemical concentrate of natural uranium by sorption-precipitation technology // Actual problems of uranium industry: Proceedings of 3rd International Scientific and Practical Conference – Almaty: Bastau, 2005. – pp. 194-198.
- 3 Filippov A.P., Krotkov V.V., Nesterov Yu.V. Sulfuric acid subsurface leaching of uranium using HNO<sub>2</sub> as an oxidizer – Almaty: Bastau, 2005. – pp. 71-76.
- 4 Berikbolov B.R., Alexandrov Yu.S., Vershkov A.F. The main results of conducting a full-scale experiment of underground leaching at the Akdal site – Almaty: Bastau, 2005. – pp. 127-137.
- 5 Rychkov V.N., Smirnov A.L., Tsevin A.P., Smyshlyaev V.Yu., Gorokhov D.S. the use of complexing polyampholites for the extraction of uranium from productive solutions of underground leaching – Almaty: Bastau, 2005. – pp. 218-224.
- 6 Kamalov M.P., Sadykov M.Zh., Kanayev A.T., Uskenbayeva A.Zh. Intensification of uranium extraction processes at PSV using oxidants - Almaty: Bastau, 2005. – pp. 247-252.
- 7 Surazhsky D. Ya. Methods of prospecting and exploration of uranium deposits. – M., 1960.
- 8 Pribytkov P. V. Basic principles of classification of industrial uranium ores “Atomic Energy” v. 3: Ore deposits of the USSR, vol. 2, M., 1974.
- 9 Smirnov Yu.V., Yefremov Z.I., Skorovarov D.I., Ivanov G.F. Hydrometallurgical processing of uranium ore raw materials. – M.: Atomizdat, 1979. – 280 p.
- 10 Extraction and purification of rare metals / edited by O.P. Kolchin. – M.: Nedra, 1960. – p. 128-145.

### Авторлар туралы мәліметтер:

**Б.Б. Абдуалиев** – 5 курс студенті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көш., 13, Астана, Қазақстан.

**Б.М. Сатанова** – PhD докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көш., 13, Астана, Қазақстан.

**Ф.У. Абуова** – PhD, доцент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көш., 13, Астана, Қазақстан.

**Г.М. Аралбаева** – PhD, аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көш., 13, Астана, Қазақстан.

**Б.Б. Абдуалиев** – студент, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахстан.

**Б.М. Сатанова** – PhD, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахстан.

**Ф.У. Абуова** – PhD, доцент, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахстан.

**Г.М. Аралбаева** – PhD, старший преподаватель, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахстан.

**B. Abdaliyev** – 5th year student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Kazhymukan str., Astana, Kazakhstan.

**B. Satanova** – PhD student, L.N.Gumilyov Eurasian National University, 13 Kazhymukan str., Astana, Kazakhstan.

**F. Abuova** – PhD, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Kazhymukan str., Astana, Kazakhstan.

**G. Aralbayeva** – PhD, Senior Lecturer, L.N.Gumilyov Eurasian National University, 13 Kazhymukan Street, Astana, Kazakhstan.

Бас редакторы: **К.Ш. Жумадилов**

Компьютерде беттеген: **Ж.Қ. Оспан**

Авторларға арналған нұсқаулықтар,  
жарияланым этикасы журнал сайтында берілген: <http://bulphysast.enu.kz>

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.  
Физика. Астрономия сериясы.  
– 2(143)/2023 – Астана: ЕҰУ. – 44 б.  
Шартты б.т. – 2.5. Таралымы – 15 дана.  
Басуға қол қойылды: 30.06.2023 ж.

Ашық қолданыстағы электронды нұсқа: <http://bulphysast.enu.kz>

Мазмұнына типография жауап бермейді

Редакция мекен-жайы: 010008, Қазақстан Республикасы,  
Астана қ., Сәтбаев көшесі, 2.

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті  
Тел.: +7(71-72) 70-95-00 (ішкі 31-315)

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды.