

ISSN 2518-1491 (Online),  
ISSN 2224-5286 (Print)



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ФЫЛЫМ  
АКАДЕМИЯСЫ» РКБ

«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ФЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РКБ

# ХАБАРЛАРЫ

---

## ИЗВЕСТИЯ

---

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН»

N E W S

OF THE ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF  
KAZAKHSTAN

SERIES  
CHEMISTRY AND TECHNOLOGY  
2 (463)

APRIL – JUNE 2025

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947

PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

**Editor in chief:**

**ZHURINOV Murat Zhurinovich**, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, President of NAS RK RPA, general director of JSC “D.V. Sokolsky Institute of fuel, catalysis and electrochemistry (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

**Editorial board:**

**ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich** (deputy editor-in-chief) doctor of chemical sciences, professor, academician of NAS RK, director of the International Scientific and Production Holding «Phytochemistry» (Karaganda, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

**AGABEKOV Vladimir Enokovich** (deputy editor-in-chief), doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Belarus, honorary director of the Institute of Chemistry of new materials (Minsk, Belarus) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

**STRNAD Miroslav**, head of the laboratory of the Institute of Experimental Botany of the Czech Academy of Sciences, professor (Olomouc, Czech Republic) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

**BURKITBAYEV Mukhambetkali**, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

**HOHMANN Judith**, head of the department of pharmacognosy, faculty of Pharmacy, University of Szeged, director of the interdisciplinary center for Life sciences (Szeged, Hungary) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

**ROSS Samir**, Ph.D, professor, school of Pharmacy, National Center for scientific research of Herbal Products, University of Mississippi (Oxford, USA) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

**KHUTORYANSKY Vitaly**, Ph.D, pharmacist, professor at the University of Reading (Reading, England) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

**TELTAYEV Bagdat Burkhanbayuly**, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, Ministry of Industry and infrastructure development of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

**PHARUK Asana Dar**, professor at Hamdard al-Majid college of Oriental medicine, faculty of Oriental medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

**FAZYLOV Serik Drakhetmetovich**, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, deputy director of the Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry (Karaganda, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

**ZHOROBKOVA Sharipa Zhorobekova**, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Kyrgyzstan, Institute of Chemistry and chemical technology of NAS KR (Bishkek, Kyrgyzstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

**KHALIKOV Jurabay Khalikovich**, doctor of chemistry, professor, academician of the Academy of Sciences of Tajikistan, V.I. Nikitin Institute of Chemistry AS RT (Tajikistan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

**VARZALIEV Vagif Medzhid ogly**, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Azerbaijan (Azerbaijan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

**GARELIK Hemda**, PhD in chemistry, president of the department of Chemistry and Environment of the International Union of Pure and Applied Chemistry (London, England) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

---

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of chemistry and technology.**

**ISSN 2518-1491 (Online)**,

**ISSN 2224-5286 (Print)**

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan **No. KZ66VPY00025419**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *organic chemistry, inorganic chemistry, catalysis, electrochemistry and corrosion, pharmaceutical chemistry and technology*.

Periodicity: 4 times a year.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arxiv>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2025

Editorial address: JSC «D.V. Sokolsky institute of fuel, catalysis and electrochemistry», 142, Kunayev str., of. 310, Almaty, 050100, tel. 291-62-80, fax 291-57-22, e-mail: orgcat@nursat.kz

**Бас редактор:**

**ЖҮРҮНОВ Мұрат Жұрынұлы**, химияғының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, РБҚ ҚР ҰҒА президенті, АҚ «Д.В. Сокольский атындағы Отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

**Редакция алқасы:**

**ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мынжасарұлы** (бас редактордың орынбасары), химияғының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, «Фитохимия» Халықаралық гылыми-өндірістік холдингінің директоры (Қарағанды, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/4864858>

**АГАБЕКОВ Владимир Енокович** (бас редактордың орынбасары), химияғының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі, Жана материалдар химиясы институтының құрметті директоры (Минск, Беларусь) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

**СТРНАД Мирослав, профессор**, Чехия гылым академиясының Эксперименттік ботаника институтының зертхана менгерушісі (Оломоуц, Чехия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

**БҮРКІТБАЕВ Мұхамбетқали**, химияғының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

**ХОХМАНН Джудит**, Сегед университеттінің Фармацевтика факультеттінің Фармакогнозия кафедрасының менгерушісі, Жаратылыстану гылымдарының пәнаралық орталығының директоры (Сегед, Венгрия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

**РОСС Самир, PhD**, Миссисипи университеттінің Өсімдік ойнімдерін гылыми зерттеу үлттых өрталығы, Фармация мектебінің профессоры (Оксфорд, АҚШ) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

**ХУТОРИЯНСКИЙ Виталий**, философия докторы (PhD, фармацевт), Рединг университеттінің профессоры (Рединг, Англия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

**ТЕЛТАЕВ Бағдат Бұрханбайұлы**, техникағының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Индустрія және инфрақұрьымдық даму министрлігі (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

**ФАРУК Асана Дағ**, Хамдар аль-Маджда Шығыс медицина колледжінің профессоры, Хамдард университеттінің Шығыс медицина факультеті (Караған, Пәкістан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

**ФАЗЫЛОВ Серік Драхметұлы**, химияғының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, Органикалық синтез және комір химиясы институты директорының гылыми жұмыстар жөніндегі орынбасары (Қарағанды, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

**ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробеккызы**, химияғының докторы, профессор, Қырғызстан ҰҒА академигі, КР ҰҒА Химия және химиялық технология институты (Бішкек, Қырғызстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

**ХАЛИКОВ Джұрабай Халикович**, химияғының докторы, профессор, Тәжікстан ҒА академигі, В.И. Никитин атындағы Химия институты (Душанбе, Тәжікстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

**ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджидоглы**, химияғының докторы, профессор, АУҒА академигі (Баку, Әзірбайжан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

**ГАРЕЛИК Ҳемда**, философия докторы (PhD, химия), Халықаралық таза және колданбалы химия одағының Химия және қоршаган орта белгінің президенті (Лондон, Англия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

---

**«ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы»**

**ISSN 2518-1491 (Online)**,

**ISSN 2224-5286 (Print)**

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Үлттых гылым академиясы» РКБ (Алматы қ.) Қазақстан Республикасының Ақпарат және көгамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № KZ66VPY00025419 мерзімдік басылым тіркеуіне койылу туралы күзелік.

Такырыптық бағыты: *органикалық химия, бейорганикалық химия, катализ, электрохимия және коррозия, фармацевтикалық химия және технологиялар*.

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© Қазақстан Республикасының Үлттых гылым академиясы РКБ, 2025

Редакцияның мекенжайы: 050100, Алматы қ., Қонаев қ-си, 142, «Д.В. Сокольский атындағы отын, катализ және электрохимия институты» АҚ, каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail:orgcat@nursat.kz

### **Главный редактор:**

**ЖУРИНОВ Мурат Журинович**, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, президент РОО Национальной академии наук Республики Казахстан, генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

### **Редакционная коллегия:**

**АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович** (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного научно-производственного холдинга «Фитохимия» (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

**АГАБЕКОВ Владимир Енокович** (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН Беларусь, почетный директор Института химии новых материалов (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

**СТРНАД Мирослав**, профессор, заведующий лабораторией института Экспериментальной ботаники Чешской академии наук (Оломоуц, Чехия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

**БУРКИТБАЕВ Мухамбеткали**, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

**ХОХМАНН Джудит**, заведующий кафедрой Фармакогнозии Фармацевтического факультета Университета Сегеда, директор Междисциплинарного центра естественных наук (Сегед, Венгрия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

**РОСС Самир**, PhD, профессор Школы Фармации национального центра научных исследований распределительных продуктов Университета Миссисипи (Оксфорд, США), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

**ХУТОРИЯНСКИЙ Виталий**, доктор философии (Ph.D, фармацевт), профессор Университета Рединга (Рединг, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

**ТЕЛЬТАЕВ Багдат Бурханбайулы**, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Министерство Индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

**ФАРУК Ахсана Даr**, профессор колледжа Восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет Восточной медицины университета Хамдарда (Карачи, Пакистан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

**ФАЗЫЛОВ Серик Драхметович**, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, заместитель директора по научной работе Института органического синтеза и углеродной химии (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

**ЖОРОБЕКОВА Шарина Жоробековна**, доктор химических наук, профессор, академик НАН Кыргызстана, Институт химии и химической технологии НАН КР (Бишкек, Кыргызстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

**ХАЛИКОВ Джурabay Халикович**, доктор химических наук, профессор, академик АН Таджикистана, Институт химии имени В.И. Никитина АН РТ (Душанбе, Таджикистан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

**ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджид оғызы**, доктор химических наук, профессор, академик НАНА (Баку, Азербайджан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

**ГАРЕЛИК Хемда**, доктор философии (Ph.D, химия), президент Отдела химии и окружающей среды Международного союза чистой и прикладной химии (Лондон, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

---

**«Известия НАН РК. Серия химии и технологий».**

**ISSN 2518-1491 (Online)**,

**ISSN 2224-5286 (Print)**

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ66VPY00025419, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *органическая химия, неорганическая химия, катализ, электрохимия и коррозия, фармацевтическая химия и технологии.*

Периодичность: 4 раз в год.

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© РОО Национальная академия наук Республики Казахстан, 2025

Адрес редакции: 050100, г. Алматы, ул. Кунаева, 142, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail:orgcat@nursat.kz

## CONTENTS

### CHEMISTRY

<b>A. Abdullin, N. Zhanikulov, A. Bailen, A. Sviderskiy, M. Kaiyrbaeva</b> THERMODYNAMIC ANALYSIS OF REACTIONS OCCURRING IN THE PROCESS OF FRIT FORMATION OF ZINC PHOSPHATE CEMENT.....	11
<b>B.B. Akimbekova, A. Karilkhan, A.A. Zhorabek, A.A. Amirkhan</b> THE INFLUENCE OF REAGENTS WITH REDOX PROPERTIES ON SELECTIVE FLOTATION.....	23
<b>S. Bayazit, A. Zazybin, Murat Aydemir</b> SYNTHESIS AND PHARMACOLOGY OF KAZCAINE AND OTHER 4-ETHYNYL PIPERIDINE DERIVATIVES: A REVIEW.....	39
<b>K.T. Botabekova, S.B. Amangaliyeva, A.K. Kipchakbayeva</b> PHOTOCHEMICAL COMPOSITION AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF PLANT <i>PHLOMIS TUBEROSA</i> .....	57
<b>A. Zhanzhaxina, Zh. Ibatayev, A. Ashirbek</b> ARTEMISIA PROCERIFORMIS L. ( <i>ARTEMISIA ABROTANUM</i> ): LITERATURE REVIEW ON CHEMICAL COMPOSITION AND BIOLOGICAL ACTIVITY.....	69
<b>B. Imangaliyeva, B. Dossanova, A. Apendina, S. Duzelbayeva, N. Sultanov</b> DETERMINATION OF TANNINS IN MEDICINAL PLANTS.....	86
<b>A. Kassen, Ye. Ussipbekova, G. Suleimenova, A. Dauletbay</b> MEMBRANE SEPARATOR PROPERTIES FOR POLYMER-BASED BATTERIES.....	104
<b>N.B. Kassenova, R.Sh. Erkassov, S.K. Makhanova, R.N. Azhigulova, R. Bayarbolat</b> IR SPECTROSCOPY AS A METHOD FOR STUDYING THE STABILITY AND REACTIVITY OF TETRANUCLEAR IRON(II) COMPLEXES.....	119
<b>R.M. Kudaibergenova, A.N. Nurlybayeva, S.Z. Mateeva, K.B. Bulekbayeva, G.A. Seitbekova</b> STUDY OF PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF HIGHLY DISPERSED ELECTROCORUNDUM.....	131
<b>A.Kh. Kussainova, B.M. Kudaibergenova, A.M. Malikova, G.A. Aldibekova</b> DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS WITH AN EXTRACT OF SEA BUCKTHORN ( <i>HIPPOPHAË RHAMNOIDES</i> L.).....	143

<b>N. Merkhatuly, A.N. Iskanderov, S.B. Abeuova, A.N. Iskanderov, A.O. Bulumbaeva</b>	
SYNTHESIS AND PHOTOPHYSICAL PROPERTIES OF CONJUGATED N,N-DIPHENYLANILYNILAZULENES.....	157
 <b>G. Mukusheva, N. Toigambekova, N. Bazarnova, M. Nurmaganbetova, A. Abdraim</b>	
OBTAINING NEW DERIVATIVES OF THE ALKALOID QUININE AND STUDYING THEIR ANTI-INFLAMMATORY ACTIVITY.....	169
 <b>N.Zh. Mukhamediyarov, N.N. Nurgaliev, A.A. Ualikhanov, A.N. Sabitova, N.A. Aitkazin</b>	
CURRENT STATE OF WASTE FROM METALLURGICAL PRODUCTION IN SOUTH KAZAKHSTAN AND PROSPECTS FOR THEIR PROCESSING.....	183
 <b>K.T. Mukhanbetzhanova, N.A. Satybaeva, K. Kuptleuova</b>	
POLYMER-COLLOIDAL COMPLEX NEW BINDING MATERIAL FOR MAKING MOULDS AND RODS.....	198
 <b>G. Ormanova, A. Anarbayev, B. Kabylbekova, N. Anarbayev</b>	
STUDY OF THE FILTRATION RATE OF GYPSUM FROM SODIUM CHLORIDE SOLUTIONS.....	214
 <b>R.K. Rakhetullayeva, M. Abutalip, B.M. Bayanbayev, A.M. Abukhan, N.B. Sarova</b>	
EXTRACTION OF WOOD-POLYMER COMPOSITES FROM POLYMER WASTE.....	228
 <b>B.B. Ryskulbek, Yu.B. Abdussametova, M.A. Dyusebaeva, N.A. Ibragimova, G.E. Berganayeva</b>	
COMPARATIVE ANALYSIS OF BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS IN THE ROOTS AND LEAVES OF ARCTIUM LAPPA.....	243
 <b>A. Tukibayeva, A. Bayeshov, D. Asylbekova, G. Adyrbekova, N. Kalieva</b>	
STUDY OF ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF PHOSPHINE IN AQUEOUS SOLUTIONS.....	260
 <b>O.S. Kholkin, N.S. Ivanov, I.E. Adelbayev, A.B. Bayeshov, M. Zhurinov</b>	
FORMATION OF ZIRCONIUM DIOXIDE BY ELECTROCHEMICAL DISSOLUTION OF ZIRCONIUM BY AC CURRENT IN ACIDIC MEDIA.....	274

## МАЗМУНЫ

### ХИМИЯ

<b>А. Абдуллин, Н. Жаникулов, А. Байлен, А. Свидерский, М. Қайырбаева</b> МЫРЫШ ФОСФАТТЫ ЦЕМЕНТТИҢ ФРИТТ ТҮЗІЛУ ПРОЦЕСІНДЕ ЖҮРЕТІН РЕАКЦИЯЛАРДЫ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ТАЛДАУ.....	11
<b>Б.Б. Акимбекова, А. Карилхан, А.А. Жорабек, А. Амирхан</b> ТОТЫҚТЫРҒЫШ-ТОТЫҚСЫЗДАНДЫРҒЫШ ҚАСИЕТТЕРГЕ ИЕ РЕАГЕНТТЕРДІҢ СЕЛЕКТИВТІ ФЛОТАЦИЯҒА ӨСЕРІ.....	23
<b>С. Баязит, А. Зазыбин, Мурат Айдемир</b> ҚАЗКАИН ЖӘНЕ БАСҚА Да 4-ЭТИНИЛПИПЕРИДИН ТУЫНДЫЛАРЫНЫҢ СИНТЕЗІ МЕН ФАРМАКОЛОГИЯСЫ: ШОЛУ МАҚАЛАСЫ.....	39
<b>К.Т. Ботабекова, С.Б. Амангалиева, А.К. Кипчакбаева</b> PHLOMIS TUBEROSA ӨСІМДІК ШИКІЗАТЫНЫҢ ФИТОХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ ЖӘНЕ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІ.....	57
<b>А. Жанжаксина, Ж. Ибатаев, А. Әшірбек</b> ARTEMISIA PROCERIFORMIS L. ( <i>ARTEMISIA ABROTANUM</i> ): ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ ЖӘНЕ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІ БОЙЫНША ӘДЕБИ ШОЛУ.....	69
<b>Б. Имангалиева, Б. Досanova, А. Апендина, С. Дузелбаева, Н. Сұлтанов</b> ДӘРІЛІК ӨСІМДІКТЕРДЕГІ ІЛІК ЗАТТАРДЫ АНЫҚТАУ.....	86
<b>А. Касен , Е. Усипбекова, Г. Сулейменова, А. Даuletбай</b> ПОЛИМЕРЛЕР НЕГІЗІНДЕГІ БАТАРЕЯЛАРҒА АРНАЛҒАН МЕМБРАНА-СЕПАРАТОР ҚАСИЕТТЕРІ.....	104
<b>Н.Б. Касенова, Р.Ш. Еркасов, С.К. Маханова, Р.Н. Ажигулова, Р. Баярболат</b> ИҚ — СПЕКТРОСКОПИЯ ТЕТРАЯДРОЛЫ ТЕМІР (II) КЕШЕНДЕРІНІҢ ТҮРАҚТЫЛЫҒЫ МЕН РЕАКЦИЯЛЫҚ ҚАБІЛЕТІН ЗЕРТТЕУ ӘДІСІ РЕТИНДЕ.....	119
<b>Р.М. Кудайбергенова, А.Н. Нурлыбаева, С.З. Матеева, К.Б. Булекбаева, Г.А. Сейтбекова</b> ЖОҒАРЫ ДИСПЕРСТІ ЭЛЕКТРОКОРУНДЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ-ХИМИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ.....	131
<b>А.Х. Кусаинова, Б.М. Кудайбергенова, А.М. Маликова, Г.А. Алдибекова</b> ҚҰРАМЫНА ОБЛЕПИХА ( <i>HIPPORHAË RHAMNOIDES</i> L.) ЭКСТРАКТЫ	

ҚОСЫЛҒАН ПОЛИМЕРЛІК КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ҚҰРАМЫН ДАЙЫНДАУ.....	143
<b>Н. Мерхатұлы, А.Н. Искандеров, С.Б. Абеуова, А.Н. Искандеров, А.О. Булумбаева</b> ҚОСАРЛАНҒАН N,N-ДИФЕНИЛАНИЛИНИЛАЗУЛЕНДЕРДІҢ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ ФОТОФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ.....	157
<b>Г. Мукушева, Н. Тойгамбекова, Н. Базарнова, М. Нурмағанбетова, А. Абдраим</b> ХИНИН АЛКАЛОИДЫНЫҢ ЖАҢА ТУЫНДЫЛАРЫН АЛУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚАБЫНУҒА ҚАРСЫ БЕЛСЕНДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ.....	169
<b>Н.Ж. Мухамедияров, Н.Н. Нургалиев, А.А. Уалиханов, А.Н. Сабитова, Н.А. Айтқазин</b> ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ МЕТАЛЛУРГИЯ ӨНДІРІС ҚАЛДЫҚТАРЫНЫҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ӨНДЕУДІҢ БОЛАШАФЫ.....	183
<b>К.Т. Муханбетжанова, Н.А. Сатыбаева, К.Т. Күптлеуова</b> ПОЛИМЕРНО-КОЛЛОИДНЫЙ КОМПЛЕКС — НОВЫЙ СВЯЗУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ.....	198
<b>Г. Орманова, А. Анарбаев, Б. Кабылбекова, Н. Анарбаев</b> НАТРИЙ ХЛОРИДІ ЕРІТІНДІЛЕРИНЕН ГИПСТІ СҮЗУ ЖЫЛДАМДЫҒЫН ЗЕРТТЕУ.....	214
<b>Р.К. Рахметуллаева, М. Әбутәліп, Б.М. Баянбаев, А.М. Абухан, Н.Б. Сарова</b> ПОЛИМЕР ҚАЛДЫҚТАРЫНАН АҒАШ-ПОЛИМЕРЛІ КОМПОЗИТТЕРДІ АЛУ.....	228
<b>Б.Б. Рысқұлбек, Ю.Б. Абдусаметова, М.А. Дюсебаева, Н.А. Ибрагимова, Г.Е. Берганаева</b> ARCTIUM LAPPA ТАМЫРЫ МЕН ЖАПЫРАҚТАРЫНДАҒЫ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ҚОСЫЛЫСТАРДЫҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ.....	243
<b>А. Тукибаева, А. Баешов, Д. Асылбекова, Г. Адырбекова, Н. Калиева</b> ФОСФИННІҢ СУЛЫ ЕРІТІНДЕРДЕГІ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	260
<b>О.С. Холкин, Н.С. Иванов, И.Е. Адельбаев, Ә.Б. Баешов, М. Жұрынов</b> ҚЫШҚЫЛДЫ ОРТАДА АЙНЫМАЛЫ ТОКПЕН ЦИРКОНИЙДІ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ЕРІТУ АРҚЫЛЫ ЦИРКОНИЙ ДИОКСИДІН АЛУ....	274

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### ХИМИЯ

<b>А. Абдуллин, Н. Жаникулов, А. Байлен, А. Свидерский, М. Кайырбаева</b> ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИЙ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ПРОЦЕССЕ ФРИТТООБРАЗОВАНИЯ ЦИНК ФОСФАТНОГО ЦЕМЕНТА.....	11
<b>Б. Акимбекова, А. Карилхан, А.А. Жорабек, А. Амирхан</b> ВЛИЯНИЕ НА СЕЛЕКТИВНУЮ ФЛОТАЦИЮ РЕАГЕНТОВ, ОБЛАДАЮЩИХ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ.....	23
<b>С. Баязит, А. Зазыбин, Мурат Айдемир</b> СИНТЕЗ И ФАРМАКОЛОГИЯ КАЗКАИНА И ДРУГИХ ПРОИЗВОДНЫХ 4-ЭТИНИЛПИПЕРИДИНА: ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ.....	39
<b>К.Т. Ботабекова, С.Б. Амангалиева, А.К. Кипчакбаева</b> ФИТОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ PHLOMIS TUBEROSA.....	57
<b>А. Жанжаксина, Ж. Ибатаев, А. Аширбек</b> ARTEMISIA PROCERIFORMIS L. ( <i>ARTEMISIA ABROTANUM</i> ): ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ.....	69
<b>Б. Имангалиева, Б. Досanova, А. Апендина, С. Дузелбаева, Н. Султанов</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДУБИЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЯХ.....	86
<b>А. Касен, Е. Усипекова, Г. Сулейменова, А. Даuletбай</b> СВОЙСТВА МЕМБРАНЫ-СЕПАРАТОРА ДЛЯ БАТАРЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ.....	104
<b>Н.Б. Касенова, Р.Ш. Еркасов, С.К. Маханова, Р.Н. Ажигулова, Р. Баярболат</b> ИК – СПЕКТРОСКОПИЯ КАК МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ И РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ТЕТРАЯДЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЖЕЛЕЗА (II).....	119
<b>Р.М. Кудайбергенова, А.Н. Нурлыбаева, С.З. Матеева, К.Б. Булекбаева, Г.А. Сейтбекова</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО ЭЛЕКТРОКОРУНДА.....	131

<b>А.Х. Кусаинова, Б.М. Кудайбергенова, А.М. Маликова, Г.А. Алдабекова</b> РАЗРАБОТКА СОСТАВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЭКСТРАКТОМ ОБЛЕПИХИ КРУШИНОВИДНОЙ ( <i>HIPPOPORAË RHAMNOIDES L.</i> ).....	143
<b>Н. Мерхатулы, А.Н. Искандеров, С.Б. Абейова, А.Н. Искандеров</b> СИНТЕЗ И ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОПРЯЖЕННЫХ N, N ДИФЕНИЛАМИЛИНАЗУЛЕНОВ.....	157
<b>Г. Мукушева, Н. Тойгамбекова, Н. Базарнова, М. Нурмаганбетова, А. Абдраим</b> ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ АЛКАЛОИДА ХИНИНА И ИЗУЧЕНИЕ ИХ ПРОТИВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ.....	169
<b>Н.Ж. Мухамедияров, Н.Н. Нургалиев, А.А. Уалиханов, А.Н. Сабитова, Н.А. Айтказин</b> СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ.....	183
<b>К.Т. Муханбетжанова, Н.А. Сатыбаева, К.Т. Күптлеуова</b> ПОЛИМЕРНО-КОЛЛОИДНЫЙ КОМПЛЕКС — НОВЫЙ СВЯЗУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ.....	198
<b>Г. Орманова, А. Анарбаев, Б. Кабылбекова, Н. Анарбаев</b> ИЗУЧЕНИЕ СКОРОСТИ ФИЛЬТРОВАНИЯ ГИПСА ИЗ РАСТВОРОВ ХЛОРИДА НАТРИЯ.....	214
<b>Р.К. Рахметуллаева, М. Абуталип, Б.М. Баянбаев, А.М. Абухан, Н.Б. Сарова</b> ПОЛУЧЕНИЕ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ.....	228
<b>Б.Б. Рыскулбек, Ю.Б. Абдусаметова, М.А. Дюсебаева, Н.А. Ибрагимова, Г.Е. Берганаева</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КОРНЯХ И ЛИСТЬЯХ ARCTIUM LAPPA.....	245
<b>А. Тукибаева, А. Баев, Д. Асылбекова, Г. Адырбекова, Н. Калиева</b> ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФОСФИНА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ.....	260
<b>О.С. Холкин, Н.С. Иванов, И.Е. Адельбаев, А.Б. Баев, М. Журинов</b> ПОЛУЧЕНИЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ РАСТВОРЕНИЕМ ЦИРКОНИЯ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ В КИСЛОЙ СРЕДЕ.....	274

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 2. Number 463 (2025), 274–290

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.296>

УДК 31.15.33

© O.S. Kholkin\*, N.S. Ivanov, I.E. Adelbayev, A.B. Bayeshov, M. Zhurinov, 2025.

D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: a.abilmagzhanov@ifce.kz

## FORMATION OF ZIRCONIUM DIOXIDE BY ELECTROCHEMICAL DISSOLUTION OF ZIRCONIUM BY AC CURRENT IN ACIDIC MEDIA

**O.S. Kholkin** — PhD, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan,  
E-mail: g.freeman-17@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4797-3374>;

**N.S. Ivanov** — Candidate of Chemical Sciences, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan,  
E-mail: xumuk777@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-2153-2802>;

**I.E. Adelbayev** — Master of engineering and technology of metallurgy, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan,  
E-mail: iskanderadelbayev@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-1435-8583>;

**A.B. Bayeshov** — academic of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Chemical Sciences, professor, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan,  
E-mail: bayeshov@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-0745-039X>;

**M. Zhurinov** — academic of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Chemical Sciences, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan,  
E-mail: ifce@ifce.kz. <https://orcid.org/0000-0001-5314-1219>.

**Abstract.** The production of zirconium-based chemical compounds, such as hexafluorozirconic acid H<sub>2</sub>[ZrF<sub>6</sub>], is hindered by the chemical inertness of metallic zirconium. Although hydrofluoric acid can effectively dissolve this metal under normal conditions, its high volatility, toxicity, and handling difficulties limit its practical use. To solve this issue, we propose a method based on alternating current electrolysis with soluble zirconium anodes, resulting in the formation of zirconium dioxide. The electrochemical dissolution of zirconium was studied in 5M sulfuric acid with ammonium bifluoride as a stabilizing additive. In the anodic half-period zirconium dioxide is formed, followed by a cathodic recovery of the surface, provides further process. It was found that increasing the concentration of NH<sub>4</sub>F×HF and the temperature significantly enhances the rate of metal dissolution. The maximum current efficiency (95,3%) was achieved at 50 °C and a current density of 300 A/m<sup>2</sup>, with NH<sub>4</sub>F×HF concentration of 2,8 g/L. Current efficiency was determined by gravimetric methods. Scanning electron microscopy (SEM) and elemental analysis confirmed the composition of the obtained powder: the

zirconium and oxygen contents were 69.97% and 28.12%, respectively, corresponding to ZrO<sub>2</sub>. The proposed approach offers a safer and practical alternative to HF-based methods for the synthesis of costly and scarcely available zirconium precursors used in the production of zirconia-based protective coatings. This is particularly relevant in the context of reducing dependence on imported materials and limiting the use of hazardous fluorinated reagents.

**Keywords:** zirconium, zirconium dioxide, electrolysis, alternating current, ammonium bifluoride

**Funding:** *This research was supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant No. BR24992812-OT-24).*

© О.С. Холкин\*, Н.С. Иванов, И.Е. Адельбаев, Э.Б. Баевшов,  
М. Жұрынов, 2025.

Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты,  
Алматы, Қазақстан.

E-mail: g.freeman-17@mail.ru

## ҚЫШҚЫЛДЫ ОРТАДА АЙНЫМАЛЫ ТОКПЕН ЦИРКОНИЙДІ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ЕРІТУ АРҚЫЛЫ ЦИРКОНИЙ ДИОКСИДІН АЛУ

**О.С. Холкин** — PhD, Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: g.freeman-17@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4797-3374>;

**Н.С. Иванов** — химия ғылымдарының кандидаты, Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: xumuk777@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2153-2802>;

**И.Е. Адельбаев** — Металлургия техникасы мен технологиясы магистрі, Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: iskanderadelbayev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1435-8583>;

**Ә.Б. Баевшов** — КР YFA академигі, химия ғылымдарының докторы, профессор, Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: bayeshov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0745-039X>;

**М. Жұрынов** — КР YFA академигі, химия ғылымдарының докторы, Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: ifce@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5314-1219>.

**Аннотация.** Гексафторцирконий қышқылы H<sub>2</sub>[ZrF<sub>6</sub>] сияқты цирконийдің химиялық туындыларын алу процесі металл цирконийдің химиялық инерттілігіне байланысты едәуір қызындық туғызады. Бұл металды қалыпты жағдайда тиімді ерітептін фторсүтек қышқылын (HF) қолдану оның ұшқыштығы, улылығы және қолдану курделілігіне байланысты шектеледі. Аталған мәселені шешу үшін біз ерітіндіге ерігіш цирконий анодтарын қолданып, айнымалы токпен электролиз жүргізу арқылы цирконийді диоксид цирконийге (ZrO<sub>2</sub>) айналдыру

әдісін ұсынамыз. Зерттеу барысында цирконийдің 5М құкірт қышқылы ерітіндісінде аммоний бифториді тұрақтандырыш коспа ретінде қатысқандағы электрохимиялық еру процесі зерттелді. Анодтық жартылай периодта цирконий диоксиді түзіледі, ал катодтық жартылай периодта процестің одан әрі дамуын қамтамасыз ету үшін электрод болған цирконий оксидінің тұнбасы бос және электродтардан оңай бөлінеді. Соңғы өнімнің шығымы 53,9 - 95,3% құрайды.  $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$  концентрациясы мен температуралы арттыру металл еруінің тиімділігін едәуір арттыратыны анықталды. Ең жоғары ток шығымы (95,3%) 50 °C температурада, 300 A/m<sup>2</sup> токтықтызғышта және  $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$  концентрациясы 2,8 г/л болғанда байқалды. Ток шығымы гравиметриялық әдістермен анықталды. Электронды микроскопия (СЭМ) және элементтік талдау нәтижесінде алынған ұнтақтың құрамы цирконий мен оттегінің мөлшері тиісінше 69,97% және 28,12% екенін көрсетті, бұл материалдың  $\text{ZrO}_2$  екенін дәлелдейді. Ұсынылған әдіс уытты фторсүтек қышқылын қолданбай-ақ оксидті цирконий жаппаларын алуға арналған сирек әрі қымбат прекурсорларды синтездеуге балама болып табылады. Бұл әдіс импортқа тәуелділікті төмендету және фтор құрамдас қауіпті реагенттерді шектеу түрғысынан өзекті.

**Тұйین сөздер:** цирконий, цирконий диоксиді, электролиз, айнымалы ток, аммоний бифториді

**Қаржыландаудыру:** Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен орындалды (грант №BR24992812-OT-24).

© О.С. Холкин\*, Н.С. Иванов, И.Е. Адельбаев, А.Б. Баевов,  
М. Журинов, 2025.

Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского,  
Алматы, Казахстан.  
E-mail: g.freeman-17@mail.ru

## ПОЛУЧЕНИЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ РАСТВОРЕНИЕМ ЦИРКОНИЯ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ В КИСЛОЙ СРЕДЕ

**О.С. Холкин** — PhD, Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан,

E-mail: g.freeman-17@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4797-3374>;

**Н.С. Иванов** — кандидат химических наук, Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан,

E-mail: xumuk777@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2153-2802>;

**И.Е. Адельбаев** — магистр техники и технологии металлургии, Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан,

E-mail: iskanderadelbayev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1435-8583>;

**А.Б. Баевов** — доктор химических наук, профессор, академик Национальной академии наук

Республики Казахстан, Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан,

E-mail: bayeshov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0745-039X>;

**М. Журинов** — доктор химических наук, академик Национальной академии наук Республики Казахстан, Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан, E-mail: ifce@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5314-1219>.

**Аннотация.** Получение химических производных циркония, таких как гексафторциркониевая кислота  $\text{H}_2[\text{ZrF}_6]$  осложнено химической инертностью металлического циркония. Использование плавиковой кислоты HF, которая эффективно растворяет этот металл при нормальных условиях, в свою очередь осложняется её летучестью, токсичностью и сложностью в использовании. Для решения данной проблемы нами был предложен метод, основанный на переводе циркония в химическое соединение (диоксид циркония) электролизом переменным током с растворимыми циркониевыми анодами. Проведено исследование реакции электрохимического растворения циркония в среде 5M серной кислоты в присутствии бифторида аммония в качестве стабилизирующей добавки. В анодном полупериоде происходит формирование диоксида циркония, а в катодном полупериоде – частичное восстановление поверхности электродов для обеспечения дальнейшего протекания процесса. Установлено, что увеличение концентрации  $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$  и температуры значительно увеличивают интенсивность растворения металла. Максимальный выход по току (95,3%) достигается при температуре 50 °C и плотности тока 300 A/m<sup>2</sup>, при концентрации  $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$  в растворе 2,8 г/л. Определение выхода по току осуществлялось гравиметрическими методами. Методами СЭМ и элементного анализа определён элементный состав полученного порошка. Содержание элементов циркония и кислорода в полученном материале составляет 69,97 и 28,12%, что отвечает составу химического вещества  $\text{ZrO}_2$ . Предлагаемая методика может быть использована как альтернатива использованию токсичной плавиковой кислоты при получении труднодоступных и дорогих прекурсоров для получения оксидноциркониевых покрытий, что особенно актуально в условиях ориентированности на импортонезависимость и ограничение работы с фторсодержащими реагентами.

**Ключевые слова:** цирконий, диоксид циркония, электролиз, переменный ток, бифторид аммония

*Финансирование: Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и Высшего образования Республики Казахстан (грант №BR24992812-OT-24).*

**Введение.** На протяжении многих лет Казахстан является важным мировым экспортёром ценных сырьевых материалов. Казахстан занимает первое место в мире по запасам черных и некоторых цветных металлов, его месторождения полезных ископаемых широко известны мировым производителям. Однако в условиях растущего потребления сырья и ухудшения экономической ситуации в большинстве стран мира возникает объективная необходимость формирования в

Казахстане самостоятельного рынка продукции высокой степени переработки с высокой прибавочной стоимостью. Одним из перспективных материалов для такого рынка является цирконий и химические продукты на его основе. Цирконий обладает рядом ценных качеств, таких как высокая коррозионная стойкость, пластичность и легкость обработки, хороший внешний вид и биологическая нейтральность. Эти и многие другие свойства делают его важным и широко используемым металлом, что стимулирует производство циркония во всё больших объёмах.

Области применения циркония достаточно обширны, что обусловлено его высокой износостойчивостью и теплопроводностью, низкой степенью взаимодействия с другими металлами и химическими веществами (Saridag, et al., 2013). Основным направлением использования циркония является производство керамических изделий (53,4%). Кроме того, его применяют в литейном производстве (13,6%), производстве огнеупорных кирпичей и прочих огнеупорных материалов (12,6%), в химической промышленности (14,8 %), ядерной энергетике (0,5%), электронике (3 %) и других отраслях (2,1 %) (Lundberg, 2011).

Важнейшее химическое производное металлического циркония – диоксид циркония,  $ZrO_2$ . Диоксид циркония ( $ZrO_2$ ) - бесцветные рыхлые кристаллы с температурой плавления 2715 °C. Оксид циркония – один из наиболее тугоплавких оксидов металлов, чем обусловлено его использование в самых разных отраслях промышленности и техники. Диоксид циркония проявляет амфотерные свойства, нерастворим в воде и водных растворах большинства кислот и щелочей, однако растворяется в плавиковой и концентрированной серной кислотах, расплавах щелочей.

С 20-х годов XX века двуокись циркония начала активно применяться в качестве тугоплавкой керамики (Ismagilov, et al., 2010), а в настоящее время материалы на основе  $ZrO_2$  находят широкое применение в качестве монокристаллов, конструкционной и функциональной керамики (Zhigachev, et al., 2018; Geodakyan, et al., 2010; Kablov, et al., 2010; Manicone, et al., 2007), в качестве микроволокон, нанопорошков и композиционных материалов (Al'myasheva, et al., 2009; Artemov, et al., 2020), а также в качестве покрытий (Schulz, et al., 2003; Solncev, 2013; Okovityj, et al., 2018). Так, например, новое поколение конверсионных покрытий на основе циркония было представлено в 2005 году в такой важной отрасли, как автомобильная промышленность (Giles, et al., 2009; Giles, et al., 2012). В литературе описаны различные химические способы получения диоксида циркония – **термическим разложением комплексных соединений, например, разложением комплексов циркония с лимонной кислотой (Krivcov, et al., 2013)**, термическим разложением силикатов (Fernández-González, et al., 2023), химическим осаждением из растворов (Prasad, et al., 2011). Эти и другие методы позволяют получить диоксид циркония с различными морфологическими и структурными характеристиками, что расширяет возможности его применения в различных отраслях промышленности.

Электрохимическое получение диоксида циркония представляет собой малоизученную область электрохимии несмотря на то, что данное направление обладает как прикладной, так и научной ценностью, особенно в контексте

разработки альтернативных методов получения диоксида циркония без использования высокотоксичных реагентов, таких как плавиковая кислота (HF).

Цирконий относится к вентильным металлам, то есть при воздействии окислительной среды на его поверхности образуется пассивный слой из оксида циркония, который является исключительно химически стойким соединением, а также обладает большим сопротивлением. В результате этого при анодной поляризации постоянным током на поверхности быстро образуется слой оксида циркония, ток растворения резко падает и процесс сильно замедляется, или же полностью прекращается. Однако применение переменного тока обеспечивает постоянную смену полярности на электродах. В анодном полупериоде происходит формирование оксида циркония, а в катодном – частичное восстановление поверхности, что может обеспечивать дальнейшее протекание процесса. Кроме того, цирконий склонен к пассивированию в кислых растворах, что затрудняет его электрохимическое растворение. Однако добавление фторидов, таких как HF, может способствовать разрушению пассивной оксидной плёнки, облегчая анодное растворение металла (Chatelut, et al., 1996). В области электрохимического растворения циркония при постоянном токе накоплен некоторый объём сведений, однако сведения о растворении циркония переменным током отсутствуют. Ниже представлены некоторые направления и результаты таких исследований.

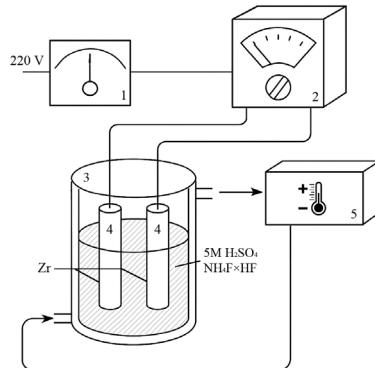
Так, в работе Amrutha и Srinivasan (Amrutha, et al., 2017) была проведена оценка скорости анодного растворения циркония в растворах плавиковой кислоты. Результаты показывают, что Растворение циркония в HF – это сложный многостадийный процесс, в котором участвуют промежуточные оксидные и оксифторидные формы на поверхности. Авторы установили, что в отсутствие фторосодержащих соединений, в растворах, содержащих только  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , значения плотности тока растворения были практически нулевыми. В работе приводятся расчёты кинетических параметров процесса и зависимости плотности тока от потенциала, подтверждающие, что наиболее активной растворяющей формой является комплекс  $\text{HF}_2^-$ , поэтому процесс не протекает без добавок фторосодержащих веществ. Согласно приведённой модели, электрохимическое растворение циркония включает начальную оксидацию  $\text{Zr}^0$  до промежуточных состояний  $\text{Zr}^{3+}$  и  $\text{Zr}^{4+}$  на поверхности электрода, за которыми следует либо электрохимическое удаление  $\text{Zr}^{3+}$  при участии молекулярной HF, либо химическое растворение  $\text{Zr}^{4+}$  в виде комплекса под действием ионов  $\text{HF}_2^-$ . Поскольку в настоящей работе рассматривается электролиз переменным током, то половину периода каждый из циркониевых электродов выступает в роли катода. Поэтому интерес представляют и катодные процессы, протекающие на поверхности циркония. Шавкуновым С.П. и Толкачёвым А.Б. (Shavkunov, et al., 2003), изучалось катодное поведение моно- и поликристаллических электродов из циркония в растворе серной кислоты. Авторы выявили, что процесс электрохимического водородовыделения (ЭВВ) на цирконии сопровождается формированием поверхностного слоя гидрида и остаточного оксида, оказывающих влияние на кинетику электрохимической реакции. На основании потенциодинамических

измерений установлено, что ЭВВ протекает по многостадийному механизму, включающему медленный заряд, десорбцию атомарного водорода и его диффузию в объём металла с последующим образованием гидрида  $ZrH_x$ . Установлено, что даже в условиях катодной поляризации цирконий сохраняет поверхностный оксидный слой, значительно влияющий на эффективность протекания процесса.

Можно заключить, что электрохимическое растворение циркония переменным током в кислых растворах является сложным и малоизученным, но перспективным направлением, позволяющим разработать более безопасные и контролируемые методы получения диоксида циркония, что особенно актуально в условиях стремления к снижению использования опасных химических веществ. Научная задача настоящего исследования состоит в разработке электрохимического способа получения оксида циркония в объеме раствора с минимальным количеством стадий и высоким выходом по току.

**Материалы и методы исследования.** Устройство электрохимической ячейки. Для проведения электрохимического растворения циркония использовалась термостатируемая ячейка, объём рабочей среды составлял 65 мл. Процесс растворения циркония протекает при плотностях тока более 100 А/м<sup>2</sup>. Для контроля плотности тока использовался амперметр Э538 на 2,5-5А. Для контроля переменного напряжения использовался лабораторный трансформатор (ЛАТР) ТР/5 TDGC2-5. Для проведения электролиза использовался переменный ток частотой 50 Герц. Процесс идёт с выделением тепла, поэтому для контроля температуры использовалось термостатирование. Термостатирование ячейки проводили с помощью лабораторного термостата LOIP LT 108.

Электроды были изготовлены из металлического циркония. В процессе растворения масса электродов уменьшается, а осадок оксида циркония оседает на дно электрохимической ячейки. Масса каждого электрода определялась (после высушивания) гравиметрически при помощи аналитических весов. Точность взвешивания составляла ±0,0001 г. Площадь рабочей поверхности каждого электрода составляла 12,22 см<sup>2</sup>. Принципиальная схема установки электролиза приведена на рисунке 1.



1 – лабораторный трансформатор (ЛАТР); 2 – амперметр; 3 – электрохимическая термостатируемая ячейка; 4 – циркониевые электроды; 5 – терmostat.

Рисунок 1 - Принципиальная схема установки для электролиза

*Реактивы и материалы.* Серная кислота  $H_2SO_4$  х.ч., ТОО «Лабхимпром». Цирконий металлический, чистота 99,995%. Вода дистиллированная. Бифторид аммония  $NH_4F \times HF$ , ч.

*Рабочий раствор.* В качестве электролита использовался раствор серной кислоты с концентрацией 5М. Для каждого эксперимента использовался свежий раствор, в который вносились отмеренное количество бифторида аммония, после чего раствор перемешивался до полного растворения добавки.

*Условия процесса электролиза.* Плотность тока растворения варьировалась от 100 до 500 А/м<sup>2</sup>. Опытным путём было установлено, что процесс химического растворения циркония прекращается при концентрации F- в растворе менее 0,1% (1,15 г/л), что эквивалентно концентрации  $NH_4F \times HF$  2,8 г/л. Поэтому процесс проводили в стационарных условиях без перемешивания рабочей среды при концентрациях бифторида аммония 0,7 и 2,8 г/л.

Исследование проводилось при температурах 30 и 50 °С. Продолжительность электролиза составляла 1 ч для всех экспериментов.

*Сбор оксида циркония.* Образующийся оксид циркония счищался с электродов, а также собирался на дне ячейки, после чего раствор фильтровали на предварительно взвешенном и высушенном бумажном фильтре, осадок многократно промывали водой и сушили в сушильном шкафу при температуре 50 °С.

Сушку порошка  $ZrO_2$ , а также электродов проводили в сушильном шкафу ШС-80-01 СПУ, а также в муфельной печи ЭКПС-10.

Полученный осадок взвешивался на аналитических весах с точностью до 0,0001 г.

*Методы анализа.* Взвешивание образцов, электродов, а также образующегося порошка и отмеренных количеств реагентов проводилось на электронных весах Ohaus RV 64 и Ohaus Adventurer RV64.

Перемешивание растворов проводили с использованием магнитной мешалки US-6120.

Элементный анализ и характеристику морфологии поверхности порошков выполняли с использованием сканирующего микроскопа JSM 6610 фирмы JEOL (Japan) с возможностями микроанализа и атомно-силового микроскопа JSPM 5200 (JEOL). Микрофотографии поверхности получали с различным увеличением. Состав компонентов определяли в атомных % с точностью ±0,5 %.

*Результаты и обсуждение. Особенности электрохимического растворения циркония.* В обычных условиях при попытке провести электрохимическое растворение под действием электрического тока цирконий быстро покрывается нерастворимым слоем оксидных соединений, и процесс растворения останавливается. Однако добавка фторосодержащего реагента даже в невысокой концентрации, такого как бифторид аммония  $NH_4F \times HF$ , обеспечивает растворение данного слоя. После этого цирконий может быть переведён в целевое химическое соединение – диоксид циркония, который в свою очередь может быть использован для синтеза гексафторциркониевой кислоты  $H_2[ZrF_6]$ .

При пропускании через ячейку переменного электрического тока напряжением до 100 В начинается интенсивное формирование белых хлопьев и осадка диоксида циркония.

Согласно составленному плану работ проведено 4 эксперимента по 5 опытов в каждом. Изучено влияние температуры, плотности тока и концентрации бифторида аммония  $\text{NH}_4\text{F}\times\text{HF}$  в растворе на процессы образования диоксида циркония  $\text{ZrO}_2$  и эффективность растворения циркония (выход по току).

Все полученные данные представлены в таблицах 1-4.

Таблица 1 - Параметры электрохимического растворения циркония при температуре 50 °C и концентрации  $\text{NH}_4\text{F}\times\text{HF}$  0,7 г/л

Параметр	Значения				
№ опыта	1	2	3	4	5
Плотность тока, А/м <sup>2</sup>	100	200	300	400	500
Сила тока, А	0,122	0,244	0,366	0,488	0,610
Общая масса растворённого циркония, г	0,0044	0,0022	0,0010	0,0002	0
Общая масса полученного оксида циркония, г	0,0615	0,1239	0,0437	0,0029	0,0004

Таблица 2 - Параметры электрохимического растворения циркония при температуре 50 °C и концентрации  $\text{NH}_4\text{F}\times\text{HF}$  2,8 г/л

Параметр	Значения				
№ опыта	6	7	8	9	10
Плотность тока, А/м <sup>2</sup>	100	200	300	400	500
Сила тока, А	0,122	0,244	0,366	0,488	0,610
Общая масса растворённого циркония, г	0,1194	0,2341	0,3448	0,3977	0,4727
Общая масса полученного оксида циркония, г	0	0,0951	0,2902	0,3449	0,2611

Таблица 3 - Параметры электрохимического растворения циркония при температуре 30 °C и концентрации  $\text{NH}_4\text{F}\times\text{HF}$  0,7 г/л

Параметр	Значения				
№ опыта	11	12	13	14	15
Плотность тока, А/м <sup>2</sup>	100	200	300	400	500
Сила тока, А	0,122	0,244	0,366	0,488	0,610
Общая масса растворённого циркония, г	0,0982	0,2013	0,0018	0	0
Общая масса полученного оксида циркония, г	0,0771	0	0	0	0

Таблица 4 - Параметры электрохимического растворения циркония при температуре 30 °C и концентрации  $\text{NH}_4\text{F}\times\text{HF}$  2,8 г/л

Параметр	Значения				
№ опыта	16	17	18	19	20
Плотность тока, А/м <sup>2</sup>	100	200	300	400	500
Сила тока, А	0,122	0,244	0,366	0,488	0,610
Общая масса растворённого циркония, г	0,1124	0,1827	0,2670	0,3886	0,3912
Общая масса полученного оксида циркония, г	0,0004	0,0778	0,1847	0,3601	0,1312

Установлено, что при низкой концентрации бифторида аммония (менее 2,8 г/л) и плотностях тока более 300 А/м<sup>2</sup> процесс растворения прекращается после исчерпания запаса  $\text{NH}_4\text{F}\times\text{HF}$  в растворе. В данном случае процесс останавливается через промежуток времени менее 1 ч.

При 400 А/м<sup>2</sup> весь бифторид, присутствующий в растворе, вырабатывается

в течение примерно 30 минут и процесс прекращается. При этом в ячейке на поверхности электродов появляются искровые разряды. То же самое происходит при плотностях тока более  $200 \text{ A/m}^2$  для растворов, содержащих 0,7 г/л бифторида аммония. В этом случае процесс растворения циркония протекает не более 20 мин при плотности тока  $200 \text{ A/m}^2$  и не более 10 мин при  $300 \text{ A/m}^2$ . Поэтому в данных случаях выход циркония по току за 1 ч был рассчитан теоретически, экстраполяцией имеющихся данных, исходя из практического времени электролиза.

При очень низких значениях плотности тока ( $100\text{-}200 \text{ A/m}^2$ ) процесс образования диоксида циркония затруднен и белого осадка на поверхности электродов не образуется. В основном в растворе происходит образование рыхлых чёрных хлопьев фторидов циркония, предположительно имеющих состав  $\text{ZrF}_3$  -  $\text{ZrF}_4$ , не оседающих на дно ячейки с течением времени. При  $100 \text{ A/m}^2$  плотности тока становится недостаточно для протекания электрохимической реакции, поэтому растворение циркония в этом случае является химическим и не может быть адекватно описано уравнением Фарадея.

При достаточной концентрации бифторида (2,8 г/л) при плотностях тока  $300 \text{ A/m}^2$  и более в растворе и на поверхности электродов при пропускании электрического тока начинается формирование диоксида циркония белого цвета. При плотностях тока  $300\text{-}500 \text{ A/m}^2$  электроды покрываются плотным толстым слоем диоксида циркония характерного белого цвета (что в дальнейшем было подтверждено элементным анализом вещества, собранного с поверхности электродов). Слой нерастворим в воде и минеральных кислотах и может быть удалён лишь выдерживанием электродов в растворе плавиковой кислоты. Проникая в поры слоя, HF вызывает частичное растворение циркония и отслоение образовавшегося покрытия из  $\text{ZrO}_2$ .

Это свойство было использовано для количественного сбора полученного диоксида циркония. Его сбор осуществлялся как со дна электрохимической ячейки посредством фильтрования рабочего раствора, так и с поверхности электродов после их обработки в растворе HF. Была проведена контрольная проверка погрешности, вносимой в процесс за счёт химического растворения циркония в растворе. Выяснено, что в течение 1 ч в химическое растворение подвергается 0,0488 и 0,0122 г циркония при концентрациях  $\text{NH}_4\text{F}\times\text{HF}$  2,8 и 0,7 г/л соответственно. Эта поправка учитывалась при расчёте выходов по току. *Определение выходов по току.* Были определены значения выходов по току. Для этого по убыли массы электродов рассчитывалась масса растворённого циркония, после чего она сравнивалась с теоретической, рассчитанной по уравнению Фарадея. Учитывалась поправка на химическое растворение.

Электрохимический эквивалент для циркония составляет  $0,8487 \text{ g/A}\times\text{ч}$ .

Результаты расчётов представлены в таблицах 5-8.

Таблица 5 - Выход по току для электрохимического растворения циркония при температуре 50 °С и концентрации  $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$  0,7 г/л

Плотность тока, А/м <sup>2</sup>	Сила тока, А	Масса раств. циркония, г	Поправка на хим. растворение, г	Масса электрохим. растворённого циркония, г	Масса электрохим. растворённого циркония теоретическая, г	Выход по току, %
100	0,122	0,0615	0,0122	0,0493	0,1035	47,6
200	0,244	0,1239		0,1117	0,2071	53,9
300	0,366	0,0437		0,0315	0,3106	10,1
400	0,488	0,0029		0,0029	0,4142	0,7
500	0,610	0,0004		0,0004	0,5177	0,08

Таблица 6 - Выход по току для электрохимического растворения циркония при температуре 30 °С и концентрации  $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$  0,7 г/л

Плотность тока, А/м <sup>2</sup>	Сила тока, А	Масса раств. циркония, г	Поправка на хим. растворение, г	Масса электрохим. растворённого циркония, г	Масса электрохим. растворённого циркония теоретическая, г	Выход по току, %
100	0,122	0,0982	0,0122	0,0860	0,1035	83,1
200	0,244	0,2013		0,1891	0,2071	91,3
300	0,366	0,0018		0,0018	0,3106	0,6
400	0,488	0		0	0,4142	0
500	0,610	0		0	0,5177	0

Таблица 7 - Выход по току для электрохимического растворения циркония при температуре 50 °С и концентрации  $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$  2,8 г/л

Плотность тока, А/м <sup>2</sup>	Сила тока, А	Масса раств. циркония, г	Поправка на хим. растворение, г	Масса электрохим. растворённого циркония, г	Масса электрохим. растворённого циркония теоретическая, г	Выход по току, %
100	0,122	0,1194	0,0488	0,0706	0,1035	68,2
200	0,244	0,2341		0,1853	0,2071	89,5
300	0,366	0,3448		0,2960	0,3106	95,3
400	0,488	0,3977		0,3489	0,4142	84,2
500	0,610	0,4727		0,4239	0,5177	81,9

Таблица 8 - Выход по току для электрохимического растворения циркония при температуре 30 °С и концентрации  $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$  2,8 г/л

Плотность тока, А/м <sup>2</sup>	Сила тока, А	Масса раств. циркония, г	Поправка на хим. растворение, г	Масса электрохим. растворённого циркония, г	Масса электрохим. растворённого циркония теоретическая, г	Выход по току, %
100	0,122	0,1124	0,0488	0,0636	0,1035	61,4
200	0,244	0,1827		0,1339	0,2071	64,7
300	0,366	0,2670		0,2182	0,3106	70,3
400	0,488	0,3886		0,3398	0,4142	82,0
500	0,610	0,3912		0,3424	0,5177	66,1

Рассчитанные значения выходов по току, приведённые в таблицах 1–4, представлены в графической форме на рисунках 2 и 3.

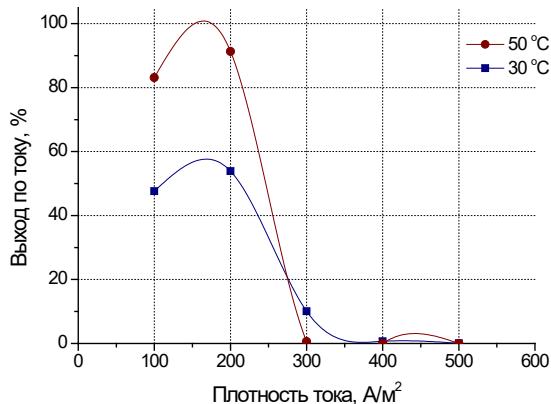


Рисунок 2 - Зависимость выхода по току для процесса растворения циркония от плотности тока при различной температуре и концентрации  $\text{NH}_4\text{F}\times\text{HF}$  0,7 г/л

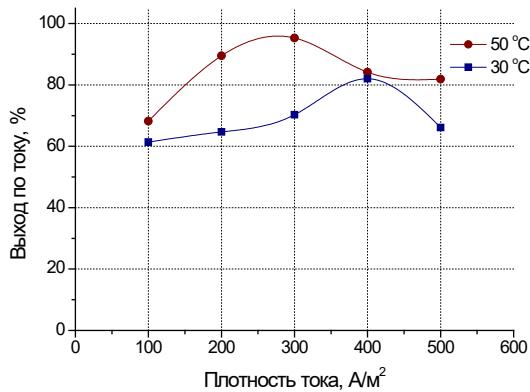


Рисунок 3 - Зависимость выхода по току для процесса растворения циркония от плотности тока при различной температуре и концентрации  $\text{NH}_4\text{F}\times\text{HF}$  2,8 г/л

Из представленных данных видно, что концентрация бифторида аммония оказывает решающее воздействие на процесс электрохимического растворения циркония. В случае более низкой (0,7 г/л) концентрации  $\text{NH}_4\text{F}\times\text{HF}$  с ростом плотности тока процесс растворения останавливается из-за быстрого исчерпания запаса этого химического вещества в растворе. При этом образование  $\text{ZrO}_2$  происходит лишь при 200  $\text{A/m}^2$ , повышение температуры до 50 градусов обеспечивает почти двукратный рост эффективности растворения, но затем после исчерпания в растворе бифторида аммония процесс останавливается. Выход по току для реакции растворения циркония в этой точке составляет 53,9 и 91,3% соответственно.

При более высокой концентрации бифторида аммония (2,8 г/л) область наибольшей эффективности процессов приходится на диапазон плотностей тока

от 300 до 400 А/м<sup>2</sup>. В этом случае наблюдается не только интенсивное растворение циркония, но и наиболее эффективное его преобразование в диоксид циркония. Влияние температуры здесь менее выражено, что может быть обусловлено меньшими диффузионными ограничениями из-за более высокой концентрации NH<sub>4</sub>F×HF, принимающего участие в электрохимическом процессе.

При плотности тока 300 А/м<sup>2</sup> и температуре 50 °С выход по току достигает своего максимального значения в 95,3%. Дальнейшее увеличение плотности тока приводит к уменьшение эффективности растворения циркония из-за повышенного газовыделения.

*Анализ состава порошка диоксида циркония.* При наиболее оптимальных условиях, определённых в ходе эксперимента, был получен порошок диоксида циркония. После промывки и высушивания порошок был проанализирован на сканирующем электронном микроскопе JSM 6610 фирмы JEOL (Japan) с возможностями микроанализа и атомно-силового микроскопа JSPM 5200 (JEOL).

Выдвинутое ранее предположение о составе порошка было подтверждено. Его основными составляющими являются цирконий и кислород. На рисунке 4 и в таблице 9 приведён состав исследованного образца.

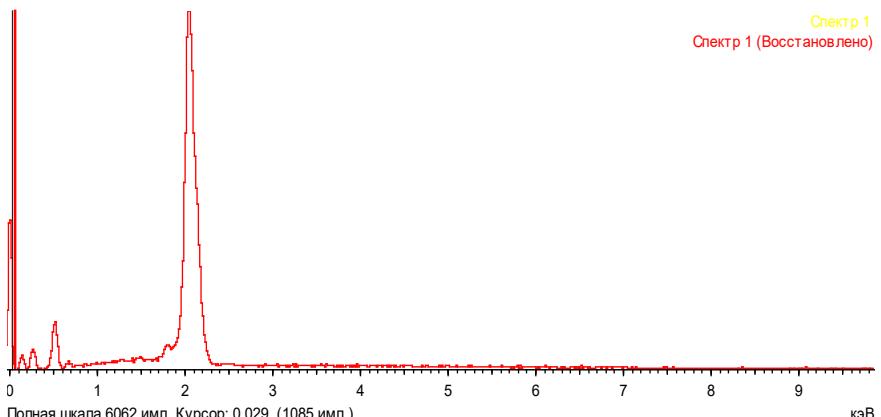


Рисунок 4 - Энергетический дисперсионный спектр (EDX) исследуемого порошка диоксида циркония

Таблица 9 - Элементный состав порошка в весовых процентах

Спектр	O	F	Zr	Итого
Спектр 1	27,92	2,30	69,78	100,00
Спектр 2	27,86	1,70	70,44	100,00
Спектр 3	28,59	1,74	69,66	100,00
Среднее	28,12	1,92	69,97	100,00

Примеси фтора вероятнее всего обусловлены остатками бифторила аммония, который, предположительно, остался в порошке после его промывки.

Соотношение атомных масс циркония и кислорода в диоксиде циркония составляет соответственно 73,98 и 26,01%:

$$\frac{Ar(Zr)}{Ar(ZrO_2)} = \frac{91}{123} \times 100\% = 73,98\%$$

$$\frac{Ar(O_2)}{Ar(ZrO_2)} = \frac{32}{123} \times 100\% = 26,01\%$$

В представленном образце доли этих элементов составляют 69,97 и 28,12%, что близко к теоретическим значениям и позволяет идентифицировать вещество и установить его химическую формулу. Порошок состоит из диоксида циркония  $ZrO_2$ . Выход по току для порошка оксида циркония при этих условиях также составляет 95,3%.

Таким образом, в ходе работы был освоен эффективный метод электрохимического получения чистого диоксида циркония из металлического циркония.

**Заключение.** Проведённое исследование позволило разработать и экспериментально обосновать эффективный метод электрохимического растворения циркония в кислой среде с использованием переменного тока и растворимых анодов. Установлены ключевые параметры, влияющие на эффективность процесса: наибольшее влияние оказывает концентрация бифторида аммония, в меньшей степени температура раствора.

Влияние плотности тока в значительной степени определяется сочетанием первых двух переменных.

Установлено, что плотность тока осаждения влияет не только на интенсивность растворения металла, но и на состав попутно образующиеся при электролизе веществ. Так, при плотности тока  $>300 \text{ A/m}^2$  в растворе начинает образовываться белый осадок оксида циркония, его количество возрастает с ростом плотности тока до  $500 \text{ A/m}^2$ . Кроме того, существует такой диапазон плотности тока, при котором образующийся  $ZrO_2$  целиком остаётся на электродах, формируя на них плотный белый слой оксида циркония.

Показано, что при оптимальных условиях ( $2,8 \text{ г/л } NH_4F \times HF$ ,  $50^\circ C$ ,  $300 \text{ A/m}^2$ ) достигается максимальный выход по току – 95,3%, при этом образуется порошок диоксида циркония высокой степени чистоты.

Предложенная методика позволяет ограничить использование высокотоксичной плавиковой кислоты, обеспечивая безопасное и эффективное получение  $ZrO_2$  из металлического циркония. Полученные результаты подтверждают практическую применимость подхода и открывают перспективы для его использования при разработке импортонезависимых технологических решений в области получения циркониевых соединений, для приготовления растворов  $H_2[ZrF_6]$  и оксидноциркониевых покрытий.

### Литература

Amrutha, M.S., Srinivasan, R. (2017) Kinetics of anodic dissolution of Zr in acidic fluoride media. J. Solid State Electrochem., 21: 91-102. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10008-016-3342-0>

Artemov S.A., Borik M.A., Volkova T.V., Gerasimov M.V., Kulebyakin A.V., Lomonova E.E., Milovich F.O., Myzina V.A., Ryabochkina P.A., Tabachkova N.Y. (2020) Influence of growth and heat treatment conditions on lasing properties of  $ZrO_2$ - $Y_2O_3$ - $Ho_2O_3$  crystals, Optical Materials, 99: 109611. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2019.109611>

Chatelut M., Gobert E., Vittori O. (1996) Electrochemical behaviour of zirconium electrodes in acidic medium and their applications to electrowinning of copper from dilute solutions, Hydrometallurgy, 43(1–3): 287–298. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-386X\(95\)00116-X](https://doi.org/10.1016/0304-386X(95)00116-X)

Fernández-González D., Piñuela-Noval J., Ruiz-Bustinza I., González-Gasca C., Gómez-Rodríguez C., Viviana García Q.L., Fernández A., Verdeja L.F. (2023) Solar dissociation of zirconium silicate sand: A clean alternative to obtain zirconium dioxide, Journal of Cleaner Production, 420: 138371. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138371>

Giles T.R., Goodreau B.H., Fristad W.E., Kroemer J., Frank M. (2009) An Update of New Conversion Coating for the Automotive Industry, SAE International Journal of Materials and Manufacturing, 1(1): 575–581. DOI: 10.4271/2008-01-

Giles T.R., Vonk D., Favero, S.-L. (2012) The Next Generation of Conversion Coatings, Proceedings of the Encontro e Exposição Brasileira de Tratamento de Superfície III INTERFINISH Latino Americano. São Paulo, Brazil: 11-14 April 2012, — C. 172-181

Lundberg M. Environmental analysis of zirconium alloy production. DiVA portal (2011) URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:475527/FULLTEXT01.pdf> (дата обращения: 05.09.2024)

Manicone P.F., Iommetti P.R., Raffaelli L. (2007) An overview of zirconia ceramics: Basic properties and clinical applications, Journal of Dentistry, 35(11): 819-826. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2007.07.008>

Prasad K., Pinjari D.V., Pandit A.B., Mhaske S.T. (2011) Synthesis of zirconium dioxide by ultrasound assisted precipitation: Effect of calcination temperature, Ultrasonics Sonochemistry, 18(5): 1128-1137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.03.001>

Saridag S., Tak O., Alniacik G. (2013) Basic properties and types of zirconia: An overview, World Journal of Stomatatology, 3: 40-47. DOI: 10.5321/wjs.v2.i3.40

Schulz U., Leyens C., Fritscher K., Peters M., Saruhan-Brings B., Lavigne O., Dorvaux J.-M., Poulaire M., Mevrel R., Caliez M. (2003) Some recent trends in research and technology of advanced thermal barrier coatings, Aerospace Science and Technology, 7(1): 73-80. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1270-9638\(02\)00003-2](https://doi.org/10.1016/s1270-9638(02)00003-2)

Shavkunov S.P., Tolkachev A.B. (2003) Electrochemical Behavior of Mono- and Polycrystalline Zirconium Electrodes in Sulfuric Acid Solutions, Protection of Metals, 39(3): 222–227. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1023906902032>

Альмяшева О.В., Власов Е.А., Хабенский В.Б., Гусаров В.В. (2009) Термическая устойчивость и катализическая активность композита "Аморфный  $Al_2O_3$ -нанокристаллы  $ZrO_2$ ", Журнал прикладной химии, 82(2): 224-229.

Геодакян Д.А., Костянин А.К., Геокчян О.К., Геодакян К.Д. (2010) Диоксидциркониевые термостойкие композиции, Огнеупоры и техническая керамика, 6: 11-15.

Жигачев А.О., Головин Ю.И., Умрихин А.В., Коренков В.В., Тюрин А.И., Родаев В.В., Дьячек Т.А. (2018) Керамические материалы на основе диоксида циркония. Москва: Техносфера, 357 с.

Исмагилов З.Р., Кузнецова В.В., Охлопкова Л.Б., Цикоза Л.Т., Яшник С.А. (2010) Оксиды титана, церия, циркония, иттрия, алюминия. Свойства, применение и методы получения. Новосибирск: Издательство СО РАН, 246 с.

Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Исаева Н.В., Солнцев С.С. (2010) Перспективные высокотемпературные керамические композиционные материалы, Российский химический журнал, 54(1): 20-24.

Кривцов И.В., Устименко А.В., Илькаева М.В., Авдин В.В. (2013) Синтез наночастиц диоксида циркония путем термического разложения комплекса циркония с лимонной кислотой, Вестник ЮУрГУ, Серия: Химия, 4: 38-39.

Оковитый В.А., Пантелейенко Ф.И., Оковитый В.В., Асташинский В.М., Углов В.В., Шиманский В.И., Черенда Н.Н. (2018) Формирование и исследование плазменных порошковых покрытий из

оксидной керамики, модифицированной высокоэнергетическими воздействиями, Наука и техника, 17(5): 378-389. DOI: <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-5-378-389>.

Солнцев С.С. (2013) Эрозионностойкие влагозащитные терморегулирующие покрытия многоразовой теплозащиты орбитального корабля «Буран», Авиационные материалы и технологии, 1: 94-124.

### References

- Amrutha, M.S., Srinivasan, R. (2017) Kinetics of anodic dissolution of Zr in acidic fluoride media. *J. Solid State Electrochem.*, №21. – P.91–102. <https://doi.org/10.1007/s10008-016-3342-0> (in English).
- Artemov S.A., Borik M.A., Volkova T.V., Gerasimov M.V., Kulebyakin A.V., Lomonova E.E., Milovich F.O., Myzina V.A., Ryabochkina P.A., Tabachkova N.Y. (2020) Influence of growth and heat treatment conditions on lasing properties of  $ZrO_2\text{-}Y_2O_3\text{-}Ho_2O_3$  crystals, *Optical Materials*, №99. – Article №109611. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2019.109611> (in English).
- Chatelut M., Gobert E., Vittori O. (1996) Electrochemical behaviour of zirconium electrodes in acidic medium and their applications to electrowinning of copper from dilute solutions, *Hydrometallurgy*, Vol. 1–3, №43. — P.287–298. [https://doi.org/10.1016/0304-386X\(95\)00116-X](https://doi.org/10.1016/0304-386X(95)00116-X) (in English).
- Fernández-González D., Piñuela-Noval J., Ruiz-Bustinza I., González-Gasca C., Gómez-Rodríguez C., Viviana García Q.L., Fernández A., Verdeja L.F. (2023) Solar dissociation of zirconium silicate sand: A clean alternative to obtain zirconium dioxide, *Journal of Cleaner Production*, №420. – Article №138371. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138371> (in English).
- Giles T.R., Goodreau B.H., Fristad W.E., Kroemer J., Frank M. (2009) An Update of New Conversion Coating for the Automotive Industry, *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, Vol. 1, №1. — P.575–581. [10.4271/2008-01-1153](https://doi.org/10.4271/2008-01-1153) (in English).
- Giles T.R., Vonk D., Favero, S.-L. (2012) The Next Generation of Conversion Coatings, Proceedings of the Encontro e Exposição Brasileira de Tratamento de Superfície III INTERFINISH Latino Americano. São Paulo, Brazil: 11-14 April 2012, — P.172–181 (in English).
- Lundberg M. Environmental analysis of zirconium alloy production. *DiVA portal* (2011) URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:475527/FULLTEXT01.pdf> (date of access: 05.09.2024) (in English).
- Manicone P.F., Iommetti P.R., Raffaelli L. (2007) An overview of zirconia ceramics: Basic properties and clinical applications, *Journal of Dentistry*, Vol. 11, №35. – P.819–826. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2007.07.008> (in English).
- Prasad K., Pinjari D.V., Pandit A.B., Mhaske S.T. (2011) Synthesis of zirconium dioxide by ultrasound assisted precipitation: Effect of calcination temperature, *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 5, №18. — P. 1128–1137. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.03.001> (in English).
- Saridag S., Tak O., Alniacik G. (2013) Basic properties and types of zirconia: An overview, *World Journal of Stomatology*, №3. – P.40–47. [10.5321/wjs.v2.i3.40](https://doi.org/10.5321/wjs.v2.i3.40) (in English).
- Schulz U., Leyens C., Fritscher K., Peters M., Saruhan-Brings B., Lavigne O., Dorvaux J.-M., Poulaire M., Mevrel R., Caliez M. (2003) Some recent trends in research and technology of advanced thermal barrier coatings, *Aerospace Science and Technology*, Vol. 1, №7. – P.73–80. [https://doi.org/10.1016/s1270-9638\(02\)00003-2](https://doi.org/10.1016/s1270-9638(02)00003-2) (in English).
- Shavkunov S.P., Tolkachev A.B. (2003) Electrochemical Behavior of Mono- and Polycrystalline Zirconium Electrodes in Sulfuric Acid Solutions, *Protection of Metals*, Vol. 3, №39. – P.222–227. <https://doi.org/10.1023/A:1023906902032> (in English).
- Al'myasheva O.V., Vlasov E.A., Habenskij V.B., Gusarov V.V. (2009) Termicheskaya ustojchivost' i kataliticheskaya aktivnost' kompozita "Amorfnyj  $Al_2O_3$ -nanokristally  $ZrO_2$ " [Thermal stability and catalytic activity of the composite "Amorphous  $Al_2O_3$ -nanocrystals  $ZrO_2$ "]. *Journal of Applied Chemistry*, Vol. 2, №82. — P.224–229. (in Russian).
- Geodakyan D.A., Kostanyan A.K., Geokchyan O.K., Geodakyan K.D. (2010) Dioksidcirkonievye termostojkie kompozicii [Dioxide zirconium heat-resistant compositions]. *Refractories and technical ceramics*, №6. — P. 11–15. (in Russian).
- Zhigachev A.O., Golovin Yu.I., Umrihin A.V., Korenkov V.V., Tyurin A.I., Rodaev V.V., D'yachek T.A. (2018) Keramicheskie materialy na osnove dioksida cirkoniya [Ceramic materials based on zirconium dioxide]. Moscow: Technosphere, 357 p. (in Russian).

Ismagilov Z.R., Kuznecov V.V., Ohlopkova L.B., Cikoza L.T., Yashnik S.A. (2010) Oksidy titana, ceriya, cirkoniya, ittriya, alyuminiya. Svojstva, primenenie i metody polucheniya [Oxides of titanium, cerium, zirconium, yttrium, aluminium. Properties, applications and methods of preparation]. Novosibirsk: Publishing house of Siberian Branch of Russian Academy of Science. — 246 p. (in Russian).

Kablov E.N., Grashchenkov D.V., Isaeva N.V., Solncev S.S. (2010) Perspektivnye vysokotemperaturnye keramicheskie kompozicionnye materialy [Perspective high-temperature ceramic composite materials]. Russian Chemical Journal, Vol. 1, №54. — P. 20–24. (in Russian).

Krivcov I.V., Ustimenko A.V., Il'kaeva M.V., Avdin V.V. (2013) Sintez nanochastic dioksida cirkoniya putem termicheskogo razlozheniya kompleksa cirkoniya s limonnoj kislotoj [Synthesis of zirconium dioxide nanoparticles by thermal decomposition of zirconium complex with citric acid]. Bulletin of the Souty Ural State University, Series: Chemistry, №4. — P.38–39. (in Russian).

Okovityj V.A., Pantaleenko F.I., Okovityj V.V., Astashinskij V.M., Uglov V.V., Shimanskij V.I., Cherenda N.N. (2018) Formirovanie i issledovanie plazmennyh poroshkovyh pokrytij iz oksidnoj keramiki, modifitsirovannoj vysokoenergeticheskimi vozdejstviyami [Formation and investigation of plasma powder coatings of oxide ceramics modified by high-energy impacts]. Science and Technology, Vol. 5, №17. — P.378–389. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-5-378-389>. (in Russian).

Solncev S.S. (2013) Erozionnostojkie vlagozashchitnye termoreguliruyushchie pokrytiya mnogorazovoj teplozashchity orbital'nogo korablya «Buran» [Erosion-resistant moisture-proof thermo-regulating coatings for reusable thermal protection of the «Buran» space orbiter]. Aviation materials and technologies, №1. — P.94–124. (in Russian).

## **Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

**[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)**

**<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>**

**ISSN 2518-1491 (Online), ISSN 2224-5286 (Print)**

Директор отдела издания научных журналов НАН РК *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Ж.Ш. Эден*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 20.06.2025.

Формат 60x88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

13,5 п.л. Заказ 2.

---

*Национальная академия наук РК*

*050010, Алматы, ул. Шевченко, 28, т. 272-13-19*