

ISSN 2518-1483 (Online),  
ISSN 2224-5227 (Print)

2024 • 3



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ  
АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

# БАЯНДАМАЛАРЫ

## ДОКЛАДЫ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»

## REPORTS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

**БАС РЕДАКТОР:**

**БЕНБЕРИН Валерий Васильевич**, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Президенті Іс Басқармасы Медициналық орталығының директоры (Алматы, Қазақстан), Н = 11

**РЕДАКЦИЈАЛЫҚ АЛҚА:**

**РАМАЗАНОВ Тілекқабил Сәбитұлы**, (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 26

**РАМАНҚҰЛОВ Ерлан Мирхайдарұлы**, (бас редактордың орынбасары), профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі, Ph.D биохимия және молекулалық генетика саласы бойынша Ұлттық биотехнология орталығының бас директоры (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 23

**САНГ-СУ Квак**, Ph.D (биохимия, агрохимия), профессор, Корей биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері, (Дэчон, Корея), Н = 34

**БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы**, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Еуразия ұлттық университеті. Л.Н. Гумилев (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 12

**ӘБИЕВ Руфат**, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны онтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей), Н = 14

**ЛЮКШИН Вячеслав Нотанович**, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «PERSONA» халықаралық клиникалық репродуктология орталығының директоры (Алматы, Қазақстан), Н = 8

**СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич**, биология ғылымдарының докторы, профессор, Чуваш республикасының еңбек сіңірген ғылым қайраткері, «Чуваш мемлекеттік аграрлық университеті» Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары білім беру мекемесі Акушерлік және терапия кафедрасының меңгерушісі, (Чебоксары, Ресей), Н = 23

**ФАРУК Асана Дар**, Хамдар аль-Маджида Хамдард университетінің шығыс медицина факультеті, Шығыс медицинасы колледжінің профессоры, (Карачи, Пәкістан), Н = 21

**ЩЕПЕТКИН Игорь Александрович**, медицина ғылымдарының докторы, Монтана штаты университетінің профессоры (Монтана, АҚШ), Н = 27

**КАЛАНДРА Пьетро**, Ph.D (физика), нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), Н = 26

**МАЛЫМ Анна**, фармацевтика ғылымдарының докторы, профессор, Люблин медицина университетінің фармацевтика факультетінің деканы (Люблин, Польша), Н = 22

**БАЙМҰҚАНОВ Дастан Асылбекұлы**, ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі, "Мал шаруашылығы және ветеринария ғылыми-өндірістік орталығы" ЖШС мал шаруашылығы және ветеринарлық медицина департаментінің бас ғылыми қызметкері (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 1

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), Н = 42

**КАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрділұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 7

**БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы**, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

**QUEVEDO Nemando**, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), Н = 28

**ЖҮСІПОВ Марат Абжанұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 7

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), Н = 5

**ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 5

**ХАРИН Станислав Николаевич**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

**ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 12

«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының баяндамалары»

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Меніңктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» Республикалық қоғамдық бірлестігі (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № КЗ93 ВРҰ00025418 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: өсімдік шаруашылығы, экология және медицина саласындағы биотехнология және физика ғылымдары.

Мерзімділігі: жылына 4 рет. Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28; 219 бөл.; тел.: 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:**

**БЕНБЕРИН Валерий Васильевич**, доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан (Алматы, Казахстан), Н = 11

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович**, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 26

**РАМАНКУЛОВ Ерлан Мирхайдарвич**, (заместитель главного редактора), профессор, член-корреспондент НАН РК, Ph.D в области биохимии и молекулярной генетики, Генеральный директор Национального центра биотехнологии (Нур-Султан, Казахстан), Н = 23

**САНГ-СУ Квак**, доктор философии (Ph.D, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэчон, Корея), Н = 34

**БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендерович**, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Нур-Султан, Казахстан), Н = 12

**АБНЕВ Руфат**, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), Н = 14

**ЛЮКШИН Вячеслав Нотанович**, доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного клинического центра репродуктологии «PERSONA» (Алматы, Казахстан), Н = 8

**СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич**, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Чувашской Республики, заведующий кафедрой морфологии, акушерства и терапии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (Чебоксары, Чувашская Республика, Россия), Н = 23

**ФАРУК Асана Дар**, профессор Колледжа восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет восточной медицины Университета Хамдарда (Карачи, Пакистан), Н = 21

**ЦЕЛЕТКИН Игорь Александрович**, доктор медицинских наук, профессор Университета штата Монтана (США), Н = 27

**КАЛАНДРА Пьетро**, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), Н = 26

**МАЛЫМ Анна**, доктор фармацевтических наук, профессор, декан фармацевтического факультета Люблинского медицинского университета (Люблин, Польша), Н = 22

**БАЙМУКАНОВ Дастанбек Асылбекович**, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент НАН РК, главный научный сотрудник Департамента животноводства и ветеринарии (Нур-Султан, Казахстан), Н = 1

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), Н = 42

**КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 7

**БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич**, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 10

**QUEVEDO Hemando**, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), Н = 28

**ЖУСУПОВ Марат Абжанович**, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 7

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), Н = 5

**ТАКИБАЕВ Нургали Жабгаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 5

**ХАРИН Станислав Николаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстано-Британский технический университет (Алматы, Казахстан), Н = 10

**ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 12

**Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан**

**ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (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 № **KZ93VPY00025418**, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *биотехнология в области растениеводства, экологии, медицины и физические науки.*

Периодичность: 4 раз в год. Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28; ком. 219; тел. 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

## EDITOR IN CHIEF:

**BENBERIN Valery Vasilievich**, Doctor of Medicine, Professor, Academician of NAS RK, Director of the Medical Center of the Presidential Property Management Department of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), H = 11

## EDITORIAL BOARD:

**RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich**, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 26

**RAMANKULOV Erlan Mirkhaidarovich**, (Deputy Editor-in-Chief), Professor, Corresponding Member of NAS RK, Ph.D in the field of biochemistry and molecular genetics, General Director of the National Center for Biotechnology (Nur-Sultan, Kazakhstan), H = 23

**SANG-SOO Kwak**, PhD in Biochemistry, Agrochemistry, Professor, Chief Researcher, Plant Engineering Systems Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daecheon, Korea), H = 34

**BERSIMBAEV Rakhmetkazhi Iskendirovich**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Nur-Sultan, Kazakhstan), H = 12

**ABIYEV Rufat**, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia), H = 14

**LOKSHIN Vyacheslav Notanovich**, Professor, Academician of NAS RK, Director of the PERSONA International Clinical Center for Reproductology (Almaty, Kazakhstan), H = 8

**SEMENOV Vladimir Grigorievich**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Scientist of the Chuvash Republic, Head of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy, Chuvash State Agrarian University (Cheboksary, Chuvash Republic, Russia), H = 23

**PHARUK Asana Dar**, professor at Hamdard al-Majid College of Oriental Medicine. Faculty of Oriental Medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan), H = 21

**TSHEPETKIN Igor Aleksandrovich**, Doctor of Medical Sciences, Professor at the University of Montana (Montana, USA), H = 27

**CALANDRA Pietro**, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy), H = 26

**MALM Anna**, Doctor of Pharmacy, Professor, Dean of the Faculty of Pharmacy, Lublin Medical University (Lublin, Poland), H = 22

**BAIMUKANOV Dastanbek Asylbekovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the NAS RK, Chief Researcher of the department of animal husbandry and veterinary medicine, Research and Production Center for Livestock and Veterinary Medicine Limited Liability Company (Nur-Sultan, Kazakhstan), H=1

**TIGHINEANU Ion Mikhailovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), H = 42

**KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich**, doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 7

**BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich**, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

**QUEVEDO Hemando**, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), H = 28

**ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 7

**KOVALEV Alexander Mikhailovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine), H = 5

**TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 5

**KHARIN Stanislav Nikolayevich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

**DAVLETOV Askar Erbulanovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 12

**Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.**

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (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. **KZ93VPY00025418**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *biotechnology in the field of crop research, ecology and medicine and physical sciences.*

Periodicity: 4 times a year. Circulation: 300 copies.

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

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC  
OF KAZAKHSTAN

ISSN 2224-5227

Volume 3. Number 351 (2024), 16–25

<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.294>

UDC 538.91K;

UDC 538.958

© E.A. Dmitriyeva\*, E.A. Bondar<sup>1</sup>, I.A. Lebedev, K.K. Yelemessov,  
A.E. Kemelbekova, 2024.

Satbayev University, Institute of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: e.dmitriyeva@sci.kz

### ANTI-REFLECTIVE COATINGS BASED ON TIN OXIDE

**Dmitriyeva E.A.** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Satbayev University, «Institute of Physics and Technology». Almaty, Kazakhstan, E-mail: e.dmitriyeva@sci.kz, <http://orcid.org/0000-0002-1280-2559>;

**Bondar E.A.** - PhD, «Institute of Physics and Technology», Almaty, Kazakhstan, E-mail: bondar@sci.kz, <http://orcid.org/0000-0001-6745-5462>;

**Lebedev I.A.** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, «Institute of Physics and Technology», Almaty, Kazakhstan,  
E-mail: i.lebedev@sci.kz, <http://orcid.org/0000-0002-7562-9925>;

**Yelemessov K.K.** – Candidate of Technical Sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,  
E-mail: k.yelemessov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>;

**Kemelbekova A.E.** – PhD, Satbayev University, «Institute of Physics and Technology», Almaty, Kazakhstan  
E-mail: a.kemelbekova@sci.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4813-8490>.

**Abstract.** In this paper, anti-reflective coatings based on tin oxide (SnO<sub>2</sub>) for silicon solar cells are studied, aimed at improving their efficiency. Due to the significant losses in the reflection of light from the silicon (Si) surface caused by the high contrast of refractive indices between air and Si, it becomes necessary to apply a coating with an intermediate refractive index. Tin oxide, which has suitable optical properties such as low absorption coefficient and high transmittance, was chosen as the coating material.

The coatings were applied by spray pyrolysis to monocrystalline silicon, which made it possible to control the thickness of the coating and investigate its effect on light reflection. The results showed that with an optimal coating thickness ( $2.5 \times 10^{-5}$  g/cm<sup>2</sup> to  $5.5 \times 10^{-5}$  g/cm<sup>2</sup>), there is a significant decrease in reflection, reaching a minimum of 1% at a wavelength of 240 nm. The effect of shifting the minimum reflection with an increase in coating thickness was also revealed, which is associated with a change in the coating area with tin oxide. Experimental data confirm the potential of using SnO<sub>2</sub> to create effective anti-reflective coatings in photovoltaic applications.

**Keywords:** silicon, tin oxide, thin films, sol-gel, reflection

© Е.А. Дмитриева\*, Е.А. Бондарь, И.А. Лебедев, К.К. Елемесов,  
А.Е. Кемелбекова

Satbayev University, Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан;  
E-mail: e.dmitriyeva@sci.kz

## ҚАЛАЙЫ ОКСИДІ НЕГІЗІНДЕГІ ШАҒЫЛЫСТЫРУҒА ҚАРСЫ ЖАБЫНДАР

**Дмитриева Е.А.** – Физика-математика ғылымдарының кандидаты, Satbayev University, Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан, E-mail: e.dmitriyeva@sci.kz, <http://orcid.org/0000-0002-1280-2559>;

**Бондарь Е.А.** - PhD, Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан, E-mail: bondar@sci.kz, <http://orcid.org/0000-0001-6745-5462>;

**Лебедев И.А.** – Физика-математика ғылымдарының докторы, Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан, E-mail: i.lebedev@sci.kz, <http://orcid.org/0000-0002-7562-9925>;

**Елемесов К.К.** – Техника ғылымдарының кандидаты, Satbayev University, Алматы, Қазақстан, E-mail: k.yelemessov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>;

**Кемелбекова А.Е.** – PhD, Satbayev University, Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан, E-mail: a.kemelbekova@sci.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4813-8490>.

**Аннотация.** Осы жұмыста кремний күн элементтерінің тиімділігін арттыруға бағытталған қалайы оксиді ( $\text{SnO}_2$ ) негізіндегі шағылыстыруға қарсы жабындар зерттелді. Кремний (Si) бетінің ауа мен Si арасындағы сыну көрсеткіштерінің жоғары контрастынан туындаған жарық шағылыстыру шығындарының айтарлықтай болуына байланысты аралық сыну көрсеткіші бар жабынды қолдану қажеттілігі туындайды. Жабын материалы ретінде қалайы оксиді таңдалды, ол төмен сіңіру коэффициенті және жоғары өткізгіштік коэффициенті сияқты сәйкес оптикалық қасиеттерге ие.

Жабындар монокристалды кремнийге спрей-пиролиз әдісімен жағылды, бұл жабынның қалыңдығын бақылауға және оның жарықты шағылыстыруға әсерін зерттеуге мүмкіндік берді. Нәтижелер жабынның оңтайлы қалыңдығы кезінде ( $2,5 \times 10^{-5}$  г/см<sup>2</sup>-ден  $5,5 \times 10^{-5}$  г/см<sup>2</sup>-ге дейін) шағылыстырудың айтарлықтай төмендеуі байқалатынын, 240 нм толқын ұзындығында шағылыстырудың ең төменгі деңгейі 1%-ға жететінін көрсетті. Сондай-ақ, жабынның қалыңдығының ұлғаюына байланысты шағылыстыру минимумының ығысу әсері анықталды, бұл қалайы оксидімен қапталған бетінің ауданының өзгеруіне байланысты. Эксперименттік деректер  $\text{SnO}_2$ -ні фотоэлектрлік қолдануда тиімді шағылыстыруға қарсы жабындар жасау үшін пайдалану әлеуетін растайды.

**Түйін сөздер:** кремний, қалайы оксиді, жұқа қабықшалар, золь-гель, шағылысу.

© Е.А. Дмитриева\*, Е.А. Бондарь, И.А. Лебедев, К.К. Елемесов,  
А.Е. Кемелбекова

Satbayev University. Физико-технический институт, Алматы, Казахстан.

E-mail: e.dmitriyeva@sci.kz

## АНТИОТРАЖАЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ОЛОВА

**Дмитриева Е.А.** – Кандидат физико-математических наук. Физико-технический институт, Алматы, Казахстан,

E-mail: e.dmitriyeva@sci.kz, <http://orcid.org/0000-0002-1280-2559>;

**Бондарь Е.А.** - PhD, Физико-технический институт, Алматы, Казахстан, E-mail: bondar@sci.kz, <http://orcid.org/0000-0001-6745-5462> ;

**Лебедев И.А.** – Доктор физико-математических наук, Физико-технический институт, Алматы, Казахстан, E-mail: i.lebedev@sci.kz, <http://orcid.org/0000-0002-7562-9925> ;

**Елемесов К.К.** – Кандидат технических наук, Satbayev University, Алматы, Казахстан, E-mail: k.yelemessov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787> ;

**Кемелбекова А.Е.** – PhD, Satbayev University, Физико-технический институт, Алматы, Казахстан, E-mail: a.kemelbekova@sci.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4813-8490>.

**Аннотация.** В данной работе исследованы антиотражающие покрытия на основе оксида олова ( $\text{SnO}_2$ ) для кремниевых солнечных элементов, направленные на улучшение их эффективности. Из-за значительных потерь на отражении света от поверхности кремния (Si), вызванных высоким контрастом показателей преломления между воздухом и Si, возникает необходимость в применении покрытия с промежуточным показателем преломления. В качестве материала покрытия был выбран оксид олова, обладающий подходящими оптическими свойствами, такими как низкий коэффициент поглощения и высокий коэффициент пропускания.

Покрытия наносились методом спрей-пиролиза на монокристаллический кремний, что позволило контролировать толщину покрытия и исследовать его влияние на отражение света. Результаты показали, что при оптимальной толщине покрытия ( $2,5 \times 10^{-5}$  г/см<sup>2</sup> до  $5,5 \times 10^{-5}$  г/см<sup>2</sup>) наблюдается существенное снижение отражения, достигающее минимума в 1% при длине волны 240 нм. Также был выявлен эффект сдвига минимума отражения с увеличением толщины покрытия, что связано с изменением площади покрытия оксидом олова. Экспериментальные данные подтверждают потенциал использования  $\text{SnO}_2$  для создания эффективных антиотражающих покрытий в фотоэлектрических приложениях.

**Ключевые слова:** кремний, оксид олова, тонкие пленки, золь-гель, отражение.

*Исследование проведено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан программа BR18574141 «Комплексная многоцелевая программа по повышению энергоэффективности и ресурсосбережению в энергетике и машиностроении для промышленности Казахстана».*

## **Введение**

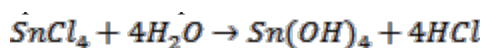
В условиях глобального энергетического кризиса развитие зеленой возобновляемой энергетики имеет решающее значение (Umirzakov, 2021). Солнечная энергия, как чистый и неисчерпаемый источник энергии, становится все более популярной благодаря своей способности преобразовывать свет в электричество напрямую за счет фотоэлектрического эффекта. Фотоэлектрическая промышленность значительно выросла в последние годы, однако кремниевые (Si) солнечные элементы продолжают доминировать на рынке фотоэлектрических (PV) аккумуляторов благодаря своей долгосрочной стабильности, зрелой полупроводниковой технологии и не токсичности материала (Boukhvalov, 2024, et al, 2023; Mukashev, 2004; Nusupov, 2006). Кроме того, Si является вторым по распространенности элементом на Земле. Несмотря на эти преимущества, кремниевые солнечные элементы страдают от ряда недостатков, в частности от слабого поглощения (Serikkanov, 2022; Murzalinov, 2022; Chuchvaga, 2020). Одной из причин потери в поглощении является высокий контраст показателей преломления между объемным Si ( $n = 3,94$  при 600 нм) и воздухом ( $n = 1$ ), что вызывает отражение на границе раздела воздух-Si. Уменьшения потерь на отражении можно добиться покрытием кремниевых пластин прозрачным материалом с промежуточным показателем преломления. Помимо соответствия показателя преломления, материал должен иметь низкий коэффициент поглощения и высокий коэффициент пропускания. К материалам, отвечающим этим требованиям, относятся  $Al_2O_3$ , ZnO и т.п. (Isakov, 2020; Wang, 2022). Наиболее соответствующий всем представленным требованиям является  $SnO_2$ . Он прозрачен в широком диапазоне длин волн, обладает низким коэффициентом поглощения и имеет показатель преломления  $n = 2$  (Dmitriyeva, 2023). В связи с этим целью данной работы является получение и исследование антиотражающих покрытий на основе оксида олова.

## **Материалы и методы**

Пленкообразующую систему готовили из пяти-водного кристаллогидрата тетрахлорида олова в этаноле с концентрацией ионов олова 0,11 моль/л. В качестве подложки был выбран монокристаллический кремний, нарезанный по направлению {111}.

Покрытия оксида олова получали спрей-пиролизом. Через распылительное сопло пленкообразующую систему под давлением 1. Бар распыляли в аэрозоль и осаждали на разогретую до 400оС кремниевую подложку.

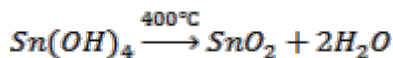
В пленкообразующей системе происходит взаимодействие хлорида олова с водой, которая находится в этаноле и в составе кристаллогидрата:



При этом образующийся  $Sn(OH)_4$ , представляет собой твердую мелко-дисперсную фазу – золь.



Распыление золя на нагретую подложку приводит к термическому разложению  $\text{Sn}(\text{OH})_4$  на  $\text{SnO}_2$  и воду.



Вода испаряется с нагретой поверхности, оставляя покрытие из  $\text{SnO}_2$ . Толщину покрытия контролировали по изменению массы образца и выражали в граммах на квадратный сантиметр.

Были изготовлены образцы с покрытием  $1 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^2$ ;  $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^2$ ;  $3,5 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^2$ ;  $4,5 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^2$ ;  $5,5 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^2$ ;  $6,5 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^2$ .

Структуру поверхности и элементный анализ проводили на сканирующем электронном микроскопе JSM-6490LA, JEOL.

Измерение спектров пропускания проводили на спектрофотометре UNICO 2800, спектры отражения – при помощи держателя для измерения отражательной способности.

### Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлена поверхность кремниевой пластины (а) и кремниевой пластины с покрытием  $4,5 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^2$  (б), и  $5,5 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^2$  (в).

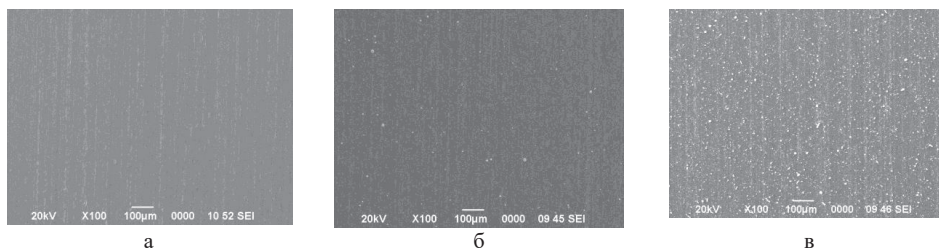


Рисунок 1 - (а) кремний, (б)  $4,5 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^2$ , (в)  $5,5 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^2$

Из рисунка видно, что формирование пленки происходит по островковому механизму Вольмера–Вебера.

При увеличении отдельных «островков» (рисунок 2) видно, что размер отдельных частиц золя составляет 100-150 нм.

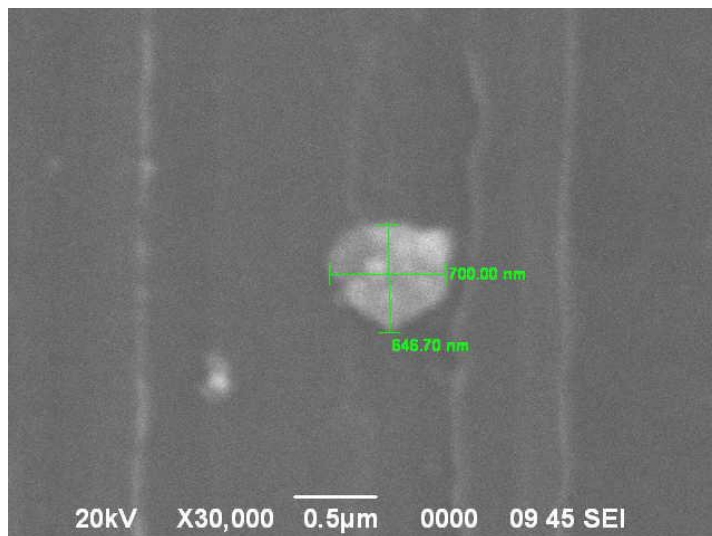
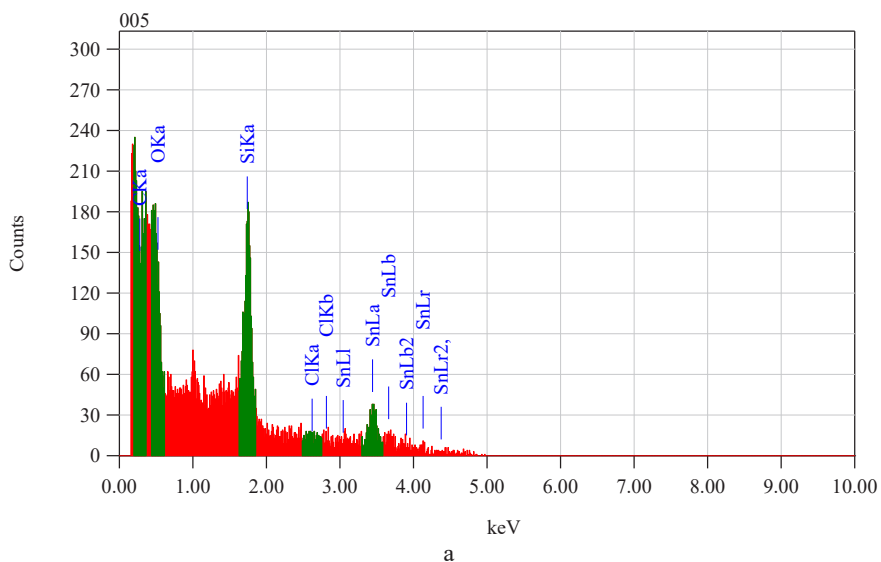


Рисунок 2 – Островок, состоящий из частиц золя

Поскольку при нанесении покрытия образуются побочные продукты химических реакций, был проведен элементный анализ поверхности образцов. В состав побочных продуктов входит углерод из растворителя и хлор из соляной кислоты.

На рисунке 3 представлен элементный анализ островка и поверхности между островками.



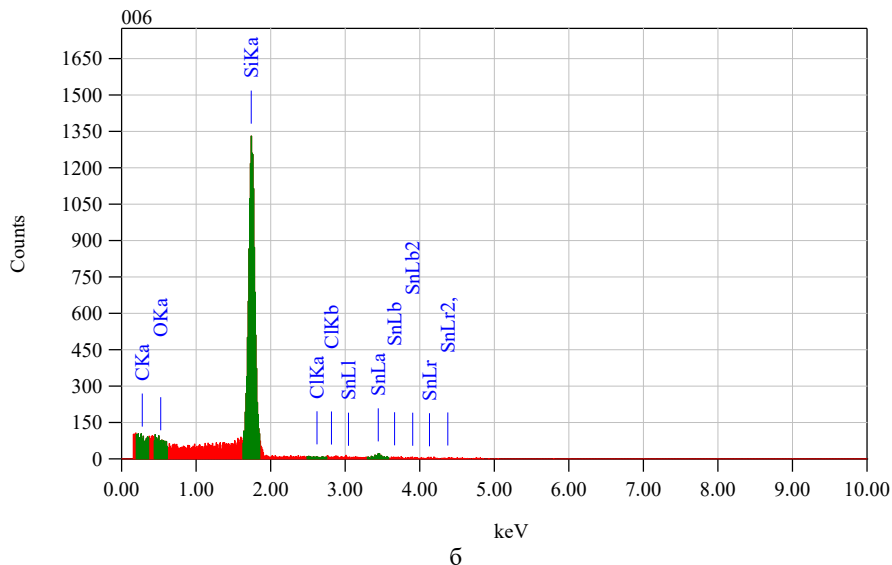


Рисунок 3 - (а) островок, (б) между островками

Из рисунка 3 видно, что элементный анализ островков фиксирует пики кислорода, кремния и олова, а участки поверхности, не покрытые островками (рис.3 б), демонстрируют пики кремния.

В таблице 1 приведены атомные проценты проведенного анализа.

Таблица 1 – состав поверхности в атомных процентах.

Элемент	Состав островка Ат%	Состав поверхности без островков Ат%
C	-	-
O	9.43	-
Si	34.22	93.09
Cl	-	-
Sn	56.35	6.91
Total	100.00	100.00

Из таблицы 1 видно, что элементов, содержащихся в побочных продуктах, нет.

С целью определения анти-отражательной способности покрытий были измерены спектры отражения неполированного кремния и кремния с нанесенным покрытием. Спектры отражения представлены на рисунке 4.

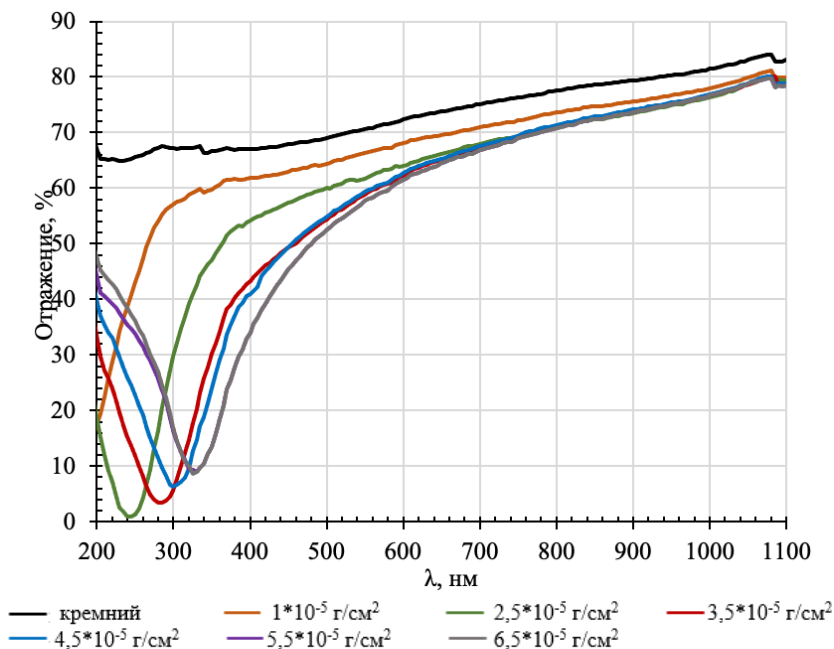


Рисунок 4 – Спектры отражения

Из рисунка 4 видно, что даже при покрытии в  $1 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^2$  зеркальное отражение от кремниевой пластины уменьшается. Увеличение покрытия до  $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^2$  приводит к образованию минимума отражения порядка 1% на длине волны 240 нм. Дальнейшее увеличение покрытия приводит к сдвигу минимума отражения до 330 нм. При этом, значение отражения в точке минимума увеличивается до 10%. Из рисунка 4 так же видно, что увеличение покрытия с  $5,5 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^2$  до  $6,5 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^2$  не приводил к изменению спектров отражения. То есть оптимальная толщина покрытия от  $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^2$  до  $5,5 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^2$ .

Появление минимума на спектрах отражения связано с резким изменением показателя преломления в области фундаментального поглощения оксида олова. Сдвиг минимума происходит из-за увеличения поверхности, покрытой «островками» оксида олова. Теоретическим пределом, до которого будет сдвигаться минимум отражения, можно считать длину волны, которая соответствует энергии ширины запрещенной зоны объемного оксида олова. Ширина запрещенной зоны оксида олова составляет 3,6 эВ, что соответствует длине волны в 344 нм.

## Выводы

Исследования показали, что покрытия на основе оксида олова ( $\text{SnO}_2$ ), нанесенные методом спрей-пиролиза, способны значительно снижать

отражение света от поверхности кремниевых солнечных элементов. Оптимальная толщина покрытия составляет  $2,5 \times 10^{-5}$  г/см<sup>2</sup> до  $5,5 \times 10^{-5}$  г/см<sup>2</sup>, при которой достигается минимум отражения около 1% при длине волны 240 нм.

Формирование покрытия происходит по островковому механизму Вольмера–Вебера, где отдельные «островки» состоят из частиц золя размером 100-150 нм.

Увеличение толщины покрытия приводит к сдвигу минимума отражения на более длинные волны, что связано с увеличением поверхности, покрытой «островками» SnO<sub>2</sub>. Однако при толщине покрытия более  $5,5 \times 10^{-5}$  г/см<sup>2</sup> дальнейшие изменения в спектрах отражения не наблюдаются.

Элементный анализ показал, что побочные продукты химических реакций, такие как углерод и хлор, отсутствуют в окончательном покрытии, что свидетельствует о чистоте процесса нанесения.

Результаты исследования подтверждают, что оксид олова является перспективным материалом для создания антиотражающих покрытий, что может существенно повысить эффективность кремниевых солнечных элементов в фотоэлектрических приложениях.

#### References

Umirzakov, A.G., Mereke, A.L., Shaikenova, A.A., Rakhmetov, B.A., Yeleuov, M.A., Beisenov, R.E., Ebrahim, R., Mansurov, B.A. (2021) Porous nickel based half-cell solid oxide fuel cell and thin-film yttria-stabilized zirconia electrolyte //Eurasian Chemico-Technological Journal. – 2021. – Т. 23. – №. 1. – С. 9-17.

Boukhvalov, D. W., Abdullin, K. A., Turmagambetov, T. S., Shongalova, A. K., Nevmerzhitkiy, I. S., Serikkanov, A. S. (2024). Effect of transition metals co-dopant on eliminating boron and phosphorous impurities from silicon //Separation and Purification Technology. – 2024. – Т. 334. – С. 126107.

Chuchvaga N., Zholdybayev K., Aimaganbetov K., Zhantuarov S., Serikkanov A. (2023) Development of Hetero-Junction Silicon Solar Cells with Intrinsic Thin Layer: A Review // Coatings. – 2023. – Vol.13. – Iss.4. – No.796.

Murzalinov D., Kemelbekova A., Seredavina T., Spivak Y., Serikkanov A., Shongalova A., Zhantuarov S., Moshnikov V., Mukhamedshina D. (2023) Self-Organization Effects of Thin ZnO Layers on the Surface of Porous Silicon by Formation of Energetically Stable Nanostructures // Materials. – 2023. – Vol.16. – Iss.2. – No.838.

Mukashev B.N., Tokmoldin S.Z., Beisenkhanov N.B., Kikkarin S.M., Valitova I.V., Glazman V.B., Aimagambetov A.B., Dmitrieva E.A., Veremenithev B.M. (2004) Influence of structure changes of oxide films on their physical properties // MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING B-ADVANCED FUNCTIONAL SOLID-STATE MATERIALS – 2004. – Vol.118. – Iss.1-3. – P.164-169.

Nusupov K.Kh., Beisenkhanov N.B., Valitova I.V., Dmitrieva E.A., Zhumagaliuly D., Shilenko E.A. (2006) Structural studies of thin silicon layers repeatedly implanted by carbon ions // PHYSICS OF THE SOLID STATE – 2006. – Vol.48 – Iss.7. – P.1255-1267.

Serikkanov A., Pavlov A., Mukashev B., Turmagambetov T., Kantarbayeva D., Zholdybayev K. (2022) The Possibility of Silicon Purification by Metallurgical Methods: Part I // Processes. – 2022. – Vol.10. – Iss.7. – No. 1353.

Serikkanov A., Shongalova A., Zholdybayev K., Tokmoldin N., Turmagambetov T., Pavlov A., Mukashev B. (2022) Integration of Kazakhstan Technologies for Silicon and Monosilane Production

with the Suitable World Practices for the Production of Solar Cells and Panels // Processes. – 2022. – Vol.10. – Iss.7. – No. 1303.

Murzalinov D.O., Shaikenova A.A., Umirzakov A.G., Fedosimova A.I., Baitimbetova B.A., Dmitriyeva Y.A., Rakymetov B.A. (2022) Increasing the photoluminescence intensity of silicon nitride by forming K and N radioactive centres // Journal of Physics: Conference Series. – 2022. – Vol.2155. – Iss.1. – ID.012008.

Murzalinov D.O., Rakymetov B.A., Baitimbetova B.A., Shaikenova A., Muratov D.A. (2022) Determination of the properties of paramagnetic centers of silicon nitride, under various conditions of heat treatment // Recent Contributions to Physics. – 2022. – Vol.80. – Iss.1. – P. 30-39.

Chuchvaga N.A., Kislyakova N.M., Tokmoldin N.S., Rakymetov B.A., Serikkanov A.S. (2020) Problems Arising from Using KOH–IPA Etchant to Texture Silicon Wafers // Technical Physics. – 2020. – Vol.65. – Iss.10. – P.1685 – 1689.

Isakov K., Kauppinen C., Franssila S., Lipsanen H. (2020) Superhydrophobic antireflection coating on glass using grass-like alumina and fluoropolymer//ACS Appl. Mater. Interfaces. – 2020. – Vol.12. – P.49957-49962. DOI: 10.1021/acsami.0c12465

Wang M., He H., Shou C., Cui H., Yang D., Wang L. (2022) Anti-reflection effect of large-area ZnO nano-needle array on multi-crystalline silicon solar cells //Materials Science in Semiconductor Processing. – 2022. – T. 138. – C. 106299.

Dmitriyeva E.A., Lebedev I.A., Bondar E.A., Fedosimova A.I., Temiraliyev A.T., Murzalinov D.O., Ibraimova S.A., Nurbaev B.M., Elemessov K., Baitimbetova B.A. (2023) The Influence of Lyophobicity and Lyophilicity of Film-Forming Systems on the Properties of Tin Oxide Films // Coatings – 2023. – Vol.13. – №1990.

**CONTENTS**

**PHYSICAL**

- B.Zh. Abdikarimov, A.Zh. Seitmuratov, Z.A. Ergalauova**  
MATHEMATICAL MODELS OF RELAXATION TIMES OF  
INHOMOGENEOUS LIQUIDS ALONG CRITICAL DIRECTIONS.....5
- E.A. Dmitriyeva, E.A. Bondar, I.A. Lebedev, K.K. Yelemessov,  
A.E. Kemelbekova**  
ANTI-REFLECTIVE COATINGS BASED ON TIN OXIDE.....16
- A.A. Zhadyranova, U. Ismail, Zh. Beisekeyeva, G. Bekova, U. Ualikhanova,**  
STUDY OF THE FREEZING QUINTESENCE OF LATE-TIME SPACE  
EXPANSION IN  $F(R, L_m)$  GRAVITY.....26
- N. Ussipov, A. Akhmetali, M. Zaidyn, A. Akniyazova, A. Sakan,  
G. Subebekova**  
ENTROPY OF GRAVITATIONAL WAVES.....47

**CHEMISTRY**

- A.Z. Abilmagzhanov, N.S. Ivanov, I. E. Adelbayev, O.S. Kholkin**  
DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR THE PURIFICATION  
OF ALKANOLAMINE SOLUTIONS.....57
- A. Auyeshov, K. Arynov, A. Dikanbayeva, A. Tasboltayeva**  
INTERACTION OF SERPENTINITE FROM THE ZHITIKARA DEPOSIT  
WITH STOICHIOMETRIC AMOUNT OF SULFURIC ACID.....70
- A.S. Dauletbayev, K.A. Kadirbekov, S.O. Abilkasova, L.M. Kalimoldina,  
Zh.S. Mukhatayeva**  
PURIFICATION OF WASTE SOLUTIONS GENERATED DURING  
URANIUM PRODUCTION WITH POLYMER FLOCCULANTS.....83
- L.D. Volkova, N.A. Zakarina, O.K. Kim, A.K. Akurpekova, A.V.  
Gabdrakipov, T.V.Kharlamova**  
INFLUENCE OF MODIFICATION OF KAOLINITES BY ALUMINUM  
OXIDE ON THE CRACKING ACTIVITY OF PETROLEUM RESIDUE.....96
- Zh. Kairbekov, T.Z. Akhmetov, M.Z. Esenalieva, I.M. Dzheldybaeva,  
S.M. Suimbayeva, M.Zh. Zhomart**  
SELECTIVE HYDROGENATION OF ISOPRENE, PIPERYLENE AND THEIR  
MIXTURES ON SKELETAL NICKEL CATALYSTS.....108

**A.K. Toktabayeva, R.K. Rakhmetullaeva, G.S. Irmukhamedova,  
G.O. Rvaidarova, G.D. Issenova**

STUDY OF THE PHYSIC-CHEMICAL PROPERTIES OF  
THERMOSENSITIVE COPOLYMERS BASED ON POLYETHYLENE  
GLYCOL.....122



## МАЗМҰНЫ

### ФИЗИКА

**Б.Ж. Абдикаримов, А.Ж. Сейтмуратов, З.А. Ергалауова**  
БІРТЕКТІ ЕМЕС СҰЙЫҚТАРДЫҢ КРИТИКАЛЫҚ БАҒЫТТАР  
БОЙЫНДАҒЫ РЕЛАКСАЦИЯ УАҚЫТЫ БОЙЫНША МАТЕМАТИКАЛЫҚ  
МОДЕЛЬДЕРІ.....5

**Е.А. Дмитриева, Е.А. Бондарь, И.А. Лебедев, К.К. Елемесов,  
А.Е. Кемелбекова**  
ҚАЛАЙЫ ОКСИДІ НЕГІЗІНДЕГІ ШАҒЫЛЫСТЫРУҒА ҚАРСЫ  
ЖАБЫНДАР.....16

**А.А. Жадыранова, У. Исмаил, Ж.М. Бейсекеева, Г.Т. Бекова,  
У.А. Уалиханова**  
 $F(R, L_m)$  ГРАВИТАЦИЯДАҒЫ КЕШ ҒАРЫШТЫҚ КЕҢЕЮДІҢ  
МҰЗДАТЫЛҒАН КВИНТЕССЕНЦИЯСЫН ЗЕРТТЕУ.....26

**Н. Усипов, А. Ахметәлі, М. Зайдын, А. Акниязова, А. Сақан,  
Г. Сүбебекова**  
ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ЭНТРОПИЯСЫ.....47

### ХИМИЯ

**А.З. Абильмагжанов, Н.С. Иванов, И.Е. Адельбаев, О.С. Холкин**  
АЛКАНОЛАМИН ЕРІТІНДІЛЕРДІ ТАЗАЛАУДЫҢ  
АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ.....57

**А. Ауешов, К. Арынов, А. Диканбаева, А. Тасболтаева**  
«ЖІТІҚАРА» КЕНОРНЫНЫҢ СЕРПЕНТИНИТІНІҢ КҮКІРТ  
ҚЫШҚЫЛЫНЫҢ СТЕХИОМЕТРИЯЛЫҚ МӨЛШЕРІМЕН  
ӘРЕКЕТТЕСУІ.....70

**Ә.С. Дәулетбаев, К.А. Кадирбеков, С.О. Абилкасова,  
Л.М. Калимолдина, Ж.С. Мұқатаева**  
УРАН ӨНДІРУ БАРЫСЫНДА ТҮЗІЛЕТІН ҚАЙТАРЫМДЫ  
ЕРІТІНДІЛЕРДІ ПОЛИМЕРЛІ ФЛОКУЛЯНТТАРМЕН ТАЗАЛАУ.....83

**Л.Д. Волкова, Н.А. Закарина, О.К. Ким, А.К. Акурпекова,  
А.В. Габдракипов Т.В.Харламова**  
КАОЛИНИТТЕРДІ АЛЮМИНИЙ ОКСИДІМЕН ТҮРЛЕНДІРУДІҢ  
ҚАЛДЫҚ МҰНАЙ ҚОРЫМДАРЫНЫҢ КРЕКИНГТЕГІ  
БЕЛСЕНДІЛІККЕ ӘСЕРІ.....96

**Ж. Каирбеков, Т.З.Ахметов, М.З. Есеналиева, И.М. Джелдыбаева,  
С. М. Суймбаева, М.Ж. Жомарт**  
ИЗОПРЕНДІ, ПИПЕРИЛЕНДІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚОСПАЛАРЫН  
ҚАҢҚАЛЫ НИКЕЛЬ КАТАЛИЗАТОРЛАРЫНДА ТАЛҒАМПАЗДЫ  
ГИДРЛЕУ.....108

**А.Қ. Тоқтабаева, Р.Қ. Рахметуллаева, Г.С. Ирмухаметова,  
Г.О. Рвайдарова, Г.Д. Исенова**  
ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ НЕГІЗІНДЕГІ СОПОЛИМЕРДІҢ  
ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ.....122

## СОДЕРЖАНИЕ

### ФИЗИКА

**Б.Ж. Абдикаримов, А.Ж. Сейтмуратов, З.А. Ергалауова**  
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВРЕМЕН РЕЛАКСАЦИИ  
НЕОДНОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ВДОЛЬ КРИТИЧЕСКИХ  
НАПРАВЛЕНИЙ.....5

**Е.А. Дмитриева, Е.А. Бондарь, И.А. Лебедев, К.К. Елемесов,  
А.Е. Кемелбекова**  
АНТИОТРАЖАЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ОЛОВА.....16

**А.А. Жадыранова, У. Исмаил, Ж.М. Бейсекеева, Г.Т. Бекова, У.А.  
Уалиханова**  
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАМОРОЖЕННОЙ КВИНТЭССЕНЦИИ ПОЗДНЕГО  
КОСМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ В  $F(R, L_m)$  ГРАВИТАЦИИ.....26

**Н. Усипов, А. Ахметәлі, М. Зайдын, А. Акниязова\*, А. Сақан,  
Г. Сүбебекова**  
ЭНТРОПИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН.....47

### ХИМИЯ

**А.З. Абильмагжанов, Н.С. Иванов, И.Е. Адельбаев, О.С. Холкин**  
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ  
РАСТВОРОВ АЛКАНОЛАМИНОВ.....57

**А. Ауешов, К. Арынов, А. Диканбаева, А. Тасболтаева**  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СЕРПЕНТИНИТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
"ЖИТИКАРА" СО СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИМ КОЛИЧЕСТВОМ  
СЕРНОЙ КИСЛОТЫ.....70

**А.С. Даулетбаев, К.А. Кадирбеков, С.О. Абилкасова, Л.М. Калимолдина,  
Ж.С.Мукатаева**  
ОЧИСТКА ОБОРОТНЫХ РАСТВОРОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ  
ПРОИЗВОДСТВЕ УРАНА ПОЛИМЕРНЫМИ ФЛОКУЛЯНТАМИ.....83

**Л.Д. Волкова, Н.А. Закарина, О.К. Ким, А.К. Акурпекова,  
А.В. Габдракипов, Т.В.Харламова**  
ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ КАОЛИНИТОВ ОКСИДОМ  
АЛЮМИНИЯ НА АКТИВНОСТЬ В КРЕКИНГЕ ОСТАТОЧНОГО  
НЕФТЯНОГО СЫРЬЯ.....96

**Ж. Каирбеков, Т.З. Ахметов, М.З. Есеналиева, И. М. Джелдыбаева,  
С.М. Суймбаева\*, М.Ж. Жомарт**  
СЕЛЕКТИВНОЕ ГИДРИРОВАНИЕ ИЗОПРЕНА, ПИПЕРИЛЕНА И ИХ  
СМЕСЕЙ НА СКЕЛЕТНЫХ НИКЕЛЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ.....108

**А.К. Токтабаева, Р.К. Рахметуллаева, Г.С. Ирмухаметова, Г.О. Рвайдарова,  
Г.Д. Исенова**  
ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОПОЛИМЕРОВ  
НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ.....122

## **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 work described 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 originality detection service Cross Check <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 сайте:

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

**ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)**

**<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>**

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

Редакторы: *Д.С. Аленов, Ж.Ш. Әден*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 12.12.2023.

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

9,0 п.л. Тираж 300. Заказ 3.

---

*РОО «Национальная академия наук РК» 050010,  
Алматы, ул. Шевченко, 28, т. 272-13-19*