

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

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№3
2026**

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

2026 • 3



ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

Editor-in-Chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of IAAS and NAS RK, General Director of the Research Institute of Petroleum Refining and Petrochemicals (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960> <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Editorial Board:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Director of the JSC "Phytochemistry Research and Production Center", (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

RAMAZANOV Tlekkaul Sabitovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

ABIEV 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), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

OLIVIERO Rossi Cesare, PhD (Chemistry), Professor at the University of Calabria (Calabria, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

TIGINYANU Ion Mihailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

SANG SU Kwak, PhD (Biochemistry, Agricultural Chemistry), Professor, Chief Scientist, Research Center for Plant Systems Engineering, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daecheon, Korea), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

BERSIMBAYEV Rakhmetkazhi Iskenderovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

CALANDRA Pietro, PhD (Physics), Professor, Institute for the Study of Nanostructured Materials (Rome, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

BOSHKAEV Kuantai Avgazyevich, PhD, Associate Professor, Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

BURKITBAEV Mukhambetkali, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

QUEVEDO Hernando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ZHUSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of NAS of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

TAKIBAEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

KHARIN Stanislav Nikolaevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

ABISHEV Medeu Erzhanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Corresponding Member of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

ABILMAGZHANOV Arlan Zainutallaevich, PhD in Chemistry, First Deputy Director General of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky", (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES.

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

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (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 № **KZ93VPY00121157** issued **05.06.2025**

Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

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

Главный редактор:

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик МАН и НАН РК, Генеральный директор НИИ нефтепереработки и нефтехимии (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960%3Cp%3Ehttps://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

АДЕКЕНОВ Сергезы Мынжасарович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор АО "Научно-производственного центра "Фитохимия" (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

АБИЕВ Руфат, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

ОЛИВЬЕРО Росси Чезаре, доктор философии (PhD, химия), профессор Университета Калабрии (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

САНГ-СУ Квак, доктор философии (PhD, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Джэон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендинович, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (PhD, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, PhD, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

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/29017135>

QUEVEDO Hernando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

ТАКИБАЕВ Нурғали Жабағаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

АБИШЕВ Медеу Ержанович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

АБИЛМАТЖАНОВ Арлан Зайнуталлаевич, кандидат химических наук, первый заместитель генерального директора АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

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

Собственник: ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр» (г. Алматы).

Свидетельство № KZ93VPY00121157 о повторной регистрации периодического печатного издания информационного агентства, информационного агентства и сетевого издания, выданное Республиканским государственным учреждением «Комитет информации» Министерства культуры и информации Республики Казахстан 05.06.2025

Тематическая направленность: физика, химия.

Периодичность: 4 раза в год.

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

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2026

CONTENTS

PHYSICS

Aliuly A., Kaltayev A.

Aliuly A., Kaltayev A. Assessment of the Applicability of Similarity Laws for Centrifugal Pump Scaling Based on Hydrodynamic Modeling.....14

Baratov A.G., Sailaubek A., Serik A.S.

Synthesis and Investigation of a Narrow-Bandgap SrTaO₂N-Based Photocatalyst.....33

Nurbayev B., Dmitriyeva E., Kemelbekova A.

Modern Methods of Selective Lithium Leaching from Spent Lithium-Ion Batteries.....45

Seitov A., Amanzholov T.

Comparative Analysis of One-Dimensional Physical-Hydrodynamic Models of Centrifugal Flow in an Impeller for Mineralized Media.....60

Syzdykova A.M., Serikbayev N.S., Kutum B.B.

Local Kodama-Type Transformations and Integrability Limits of the Extended Fifth-Order Korteweg-de Vries Equation.....83

Ualikhanova U.A., Ussipkyzy T., Altayeva G.S., Razina O.V.

Calculation of the Screened $f(T)$ Gravity Model.....101

Zhadyranova A.A., Tsyba P.Yu., Ismail U.K., Yerzhan B.

Divergence-Free Deceleration Parameter, Kinematic Constraints from DESI DR2 and Cosmic Chronometers.....123

Zhenishan K., Bekov S.S., Syzdykova A.M.

The Influence of Gaussian Process Parameters on Reconstructing the Hubble Constant.....146

CHEMISTRY

Amangeldi B., Zhanikulov N., Taimasov B., Aitureev M., Dauletiyarov M.

Research of the Firing Processes and Whiteness of White Cement Clinkers.....155

Baisalova G.Zh., Bauyrzhanova G.B., Niyaz G.A., Taltenov A.A., Ainabayev A.A.

Study of the Chemical Composition of Ethanol Extracts of Lady's Mantle by Gas Chromatography-Mass Spectrometry.....169

Bishimbaev V.K., Kapsalyamov B.A.

Hydrogeochemical Indicators of Sulfuric-Acid Uranium Leaching Impact on Groundwater in Shieli and Zhanakorgan Districts.....183

Darmenbayeva A.S., Aubakirova R.A. Nurgaliyeva D.A., Abylkassova G.E., Abilmazhinova G.A.

Structural and Morphological Features of Polymer-Metal Functional Materials.....205

Dyusebaeva M.A., Berganayeva A.E., Ibragimova N.A., Utaraliev D.M., Berganayeva G.E.

Green synthesis of silver nanoparticles using the n-butanol fraction of Galega officinalis L.....223

Dyussembekova S.B., Utarova D.A., Kuspanov Zh.B., Daulbayev Ch.B., Abdikarimova U.A. Investigation of the Effect of SrTiO ₃ Heat Treatment on the Photocatalytic Efficiency of the \	
Decomposition of an Amphoteric Antibiotic.....	239
Issayeva U.B., Akhmetova G.S., Praliyev K.D., Malmakova A.E., Seilkhanov T.M. 1-Benzyl-4-(p-Fluorobenzoyloxyimino)Piperidine Hydrochloride as a Candidate for	
an Anti-Infective Agent.....	252
Kamunur K., Yskak M., Mussapyrova L. Effect of Chemical Modification of Sodium Lignosulfonate on Flotation Properties in the	
Barite – Calcite System.....	264
Kononov A., Kamunur K., Mussapyrova L., Assylkhanova D., Batkal A. Obtaining and Studying the Inorganic Flocculant Al–Fe–Mn Based on Modified Bentonite.....	276
Kurmangaliyeva A.1, Akhmetova F.2, Kareshova Zh.1, Iskakov R. PDMA-Modified Tagan Bentonite for Hydrogen Production in Catalytic Conversion	
of Hydrocarbons.....	292
Kurtebayeva A.A., Silvia Álvarez-Torrellas., Noor Haida Mohd Kaus., Gomes H.T., Kalmakhanova M.S. Corn-Cob-Derived Fe-Modified Activated Carbons for Paracetamol and Sulfamethoxazole	
Removal by Adsorption and Oxidative Treatment.....	307
Nadirov R.K., Nurtazina N.D., Ryskaliyeva R.G. Response Surface Modelling and Optimisation of Ilmenite Flotation Using a Modified	
Lignosulphonate Reagent.....	334
Nefedov A.N., Taikenova A.T., Imashev B.K., Nurislamov R.M., Leontyeva X. Quantum Computing in the Modeling of Corrosion Processes.....	350
Nurkenov O.A., Fazylov S.D., Syzdykov A.K., Kabiyeva S.K., Zhaslan R.K. Synthesis and Structural Study of 3,5-Dimethylisoxazole Sulfone Derivatives with Secondary	
Amines.....	365
Orazbekova R.S., Tungatarova S.A., Baizhumanova T.S., Kaumenova G.B., Zhumabek M. Influence of Reaction Mixture Composition in Steam Reforming of Bioethanol on a High-Entropy	
Oxide Catalyst.....	382
Ryskaliyeva R.G., L.K. Beisembayeva, Osserov T.B. Hydrocyclone Classification of Balkhash Processing Plant Tailings.....	398
Sass A.S., Torlopov I.I., Rakhmetova K.S., Kenzin E.N., Zhurinov M. Formation and Maturation of Phosphate Coatings on Steel from an Alcohol-Based	
Phosphating Solution.....	418
Sdikova G.Zh., Dalabayeva N.S., Balkembay A.S., Sarova N.B., Zhaltyrbayeva N.K. Effect of Electrolyte Formulation on the Characteristics of Zinc-Based	
Electroplated Coatings.....	435
Seitkaliyeva N., Kussainova G., Zhursumbayeva M., Mohamad Ibrahim M.N., Abdiyev K. Study of the Flocculation Properties of Itaconic Acid-Based Copolymers.....	448

Sergazina S.M., Nurmukhanbetova N.N., Ostretsova I.B., Kamze A.R., Kassenova N.B. Comprehensive Assessment of Natural Drinking Water Quality and Statistical Analysis of Physicochemical Parameters.....	460
Talgatkyzy A., Nazhipkyzy M., Otenov A., Seitkazinova A., Issanbekova A. Wood Waste-Derived Organosolv Lignin-Based Carbon Nanofibers For Energy Storage Applications.....	475
Toktabayeva A.K., Makhayeva D.N., Rakhmetullayeva R.K., Rvaidarova G.O., Issenova G.D. Synthesis, Structure, and Physicochemical Properties of Sulfur-Containing Composites Based on Aniline, p-Phenylenediamine, Phenol, and Formaldehyde.....	498
Yeshmanova G.B., Smagulov D.U. Effect of Silicon-Based Particles on the Formation and Composition of PEO Coatings.....	517
Zhortarova A.A., Kubicek V., Ibrayev M.K., Panshina S.Y., Seidakhmetova R.B. N-Phosphorylation of Amino-thiazoles and Amino-Thiadiazoles with P(III)- and P(V)-Reagents: Synthesis, Structure, and Biological Activity.....	538
Zhussupova A., Tyumentseva O., Antonyuk V. Comparative Study of the Kinetics and Energy Characteristics of Planetary Milling of Copper Smelting Dump Slag and Granulated Lead-Smelting Slag.....	552

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

Әлиұлы А., Калтаев А.

Гидродинамикалық модельдеу негізінде ортадан тепкіш сорғыларды масштабтауда ұқсастық заңдарының қолданылуын бағалау.....14

Баратов А.Ғ., Сайлаубек А., Серік А.С.

SnTaO₂N негізіндегі тар тыйым салынған аймақты фотокатализаторды алу және зерттеу.....33

Нұрбаев Б., Дмитриева Е., Кемелбекова А.

Пайдаланылған литий-ионды аккумуляторлардан литийді селективті шаймалаудың заманауи әдістері.....45

Сейтов А.Н., Аманжолов Т.Е.

Минералданған орталарға арналған жұмыс дөңгелегіндегі ортадан тепкіш ағыстың бірөлшемді физикалық-гидродинамикалық модельдерін салыстырмалы талдау.....60

Сыздыкова А.М., Серикбаев Н.С., Кутум Б.Б.

Кенетейлген бесінші ретті Кортевег-де Фриз тендеуінің локалды кодам типті түрлендіруі мен интегралдану шектері.....83

Уалиханова У.А., Үсіпқызы Т., Алтаева Г.С., Разина О.В.

Экрандалған f(T)– гравитация моделінің есебі.....101

Жадыранова А.А., Цыба П.Ю., Исмаил Ү.Қ., Ержан Б.

Дивергенциясыз бәсеңдеу параметрі, DESI DR2 және космикалық хронометрлер деректері бойынша кинематикалық шектеулер.....123

Жеңіскан Қ., Беков С.С., Сыздыкова А.М.

Хаббл тұрақтысын реконструкциялауға Гаусстық процестер параметрлерінің әсері.....146

ХИМИЯ

Амангелді Б., Жаникулов Н., Таймасов Б., Айтүреев М., Даулетияров М.

Ақ цемент клинкерлерінің күйдіру процестерін және ақтығын зерттеу.....155

Байсалова Г.Ж., Бауыржанова Г.Б., Нияз Г.А., Талтенов А.А., Айнабаев А.А.

Газ хроматография-масс-спектрометрия әдісімен кәдімгі теңгежапырақ өсімдігінің этанолды сығындыларының химиялық құрамын зерттеу.....169

Бишимбаев В.К., Капсаямов Б.А.

Шиелі және Жаңақорған аудандарындағы уранды күкірт қышқылымен шаймалаудың жер асты суларына әсерінің гидрогеохимиялық көрсеткіштері.....183

Дарменбаева А.С., Аубакирова Р.А., Нурғалиева Д.А., Абылкасова Г.Е., Абильмажинова Г.А.

Полимер-металл функционалдық материалдардың құрылымдық-морфологиялық ерекшеліктері.....205

Дюсебаева М.А., Берганаева А.Е., Ибрагимова Н.А., Утаралиев Д.М., Берганаева Г.Е.

Galega Officinalis L. өсімдігінің N-бутанолдық фракциясы арқылы күміс нанобөлшектерін жасыл синтездеу.....223



Дюсембекова С.Б., Утарова Д.А., Құспанов Ж.Б., Даулбаев Ч.Б., Әбдікәрімова Ұ.Ә. Термиялық өңделген SrTiO ₃ фотокатализаторларының екідайлы антибиотикті тиімді ыдыратуын зерттеу.....	239
Исаева Ұ.Б., Ахметова Г.С., Пірәлиев Қ.Ж., Малмакова А.Е., Сейлханов Т.М. Жұқпалы ауруларға қарсы кандидат ретінде 1-бензил-4-(П-фторбензоилоксиимино) пиперидин гидрохлориді.....	252
Қамұнұр Қ., Ысқақ М., Мусапирова Л. Барит–кальцит жүйесіндегі натрий лигносульфонатының флотациялық қасиеттеріне химиялық модификацияның әсері.....	264
Кононов А., Қамұнұр Қ., Мусапирова Л., Асылханова Д., Батқал А. Модификацияланған бентонит негізіндегі Al–Fe–Mn бейорганикалық флокулянтын алу және зерттеу.....	276
Қурманғалиева А.1, Ахметова Ф., Карешова Ж., Исаков Р. Көмірсутектердің каталитикалық конверсиясы арқылы сутек алуға арналған ПДМА-модификацияланған таған бентониті.....	292
Қуртебаева А.А., Álvarez-Torrellas S., Noor Haida Mohd Kaus., Gomes H.T., Калмаханова М.С. Жүгері собықтарынан алынған темірмен модификацияланған белсендірілген көмірлермен парацетамол мен сульфаметоксазолды адсорбциялық-тотығу жолымен жою.....	307
Надиров Р.К., Нуртазина Н.Д., Рыскалиева Р.Г. Модификацияланған лигносульфонатты реагентті қолдану арқылы ильменит флотациясының жауап бетін модельдеу және оңтайландыру.....	334
Нефедов А.Н., Тайекенова А.Т., Имашев Б.К., Нурисламов Р.М., Леонтьева К.А. Коррозиялық процестерді модельдеудегі кванттық есептеулер.....	350
Нүркенов О.А., Фазылов С.Д., Сыздықов А.К., Қабиева С.Қ., Жаслан Р.К. Екіншілік аминдермен 3,5-диметилизоксазолдың сульфотуындыларын синтездеу және құрылымдық зерттеу.....	365
Оразбекова Р.С., Тунгатарова С.А., Байжұманова Т.С., Кауменова Г.Б., Жұмабек М. Жоғары энтропиялық оксид катализаторы қатысында биоэтанолдың бу риформингісіне реакциялық қоспа құрамының әсері.....	382
Рыскалиева Р.Г., Бейсембаева Л.К., Осеров Т.Б. Балқаш байыту фабрикасының байыту қалдықтарын гидроциклондық классификациялау.....	398
Сасс А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Кензин Э.Н., Жұрынов М. Спирт негізіндегі фосфаттау ерітіндісінен болат бетінде фосфатты жабындардың қалыптасуы және жетілуі.....	418
Сдикова Г.Ж., Далабаева Н.С., Балкембай А.С., Сарова Н.Б., Жалтырбаева Н.К. Мырыш негізіндегі гальваникалық қаптамалардың қасиеттеріне электролит құрамының әсері.....	435

Сейтқалиева Н., Құсаинова Г., Жүрсімбаева М., Мохамад Ибрагим М.Н., Әбдиев Қ. Итакон қышылы негізіндегі сополимерлердің флокуляциялық қасиеттерін зерттеу.....	448
Сергазина С.М., Нұрмұханбетова Н.Н., Острцова И.Б., Камзе А.Р., Касенова Н.Б. Табиғи ауыз су сапасын кешенді бағалау және физика-химиялық көрсеткіштерге статистикалық талдау.....	460
Талгатқызы Ә., Нажиқызы М., Өтенов Ә., Сейтқазинаева Ә., Исанбекова А. Ағаш қалдықтарынан алынған органосольв лигнин негізіндегі көміртекті талшықтарды энергия сақтау жүйелерінде қолдану.....	475
Тоқтабаева Ә.Қ., Махаева Д.Н., Рахметуллаева Р.Қ., Рвайдарова Г.О., Исенова Г.Д. Анилин, п-фенилендиамин, фенол және формальдегид негізіндегі күкіртқұрамды композиттердің синтезі, құрылымы және физика-химиялық қасиеттері.....	498
Ешманова Г.Б., Смағұлов Д.У. Кремний негізіндегі бөлшектердің ПЭО жабындарының қалыптасуы мен құрамына әсері.....	517
Жортарова А.А., Kubicek V., Ибраев М.Қ., Паньшина С.Ю., Сейдахметова Р.Б. P(III) және P(V) реагенттерімен аминотиазолдар мен аминок-тиадиазолдарды N-фосфорлирлеу: синтезі, құрылымы және биологиялық белсенділігі.....	538
Жусупова А., Тюменцева О., Антонюк В. Үйінді мыс балқыту шлагы мен қорғасын балқытудың түйіршіктелген шлагын планетарлық ұнтақтау кинетикасы мен энергетикасын салыстырмалы зерттеу.....	552

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Әлиұлы А., Калтаев А.

Оценка применимости законов подобия при масштабировании центробежных насосов на основе гидродинамического моделирования.....14

Баратов А.Г., Сайлаубек А., Серік А.С.Получение и исследование узкозонного фотокатализатора на основе SrTaO_2N33**Нұрбаев Б., Дмитриева Е., Кемелбекова А.**

Современные методы селективного выщелачивания лития из отработанных литий-ионных аккумуляторов.....45

Сейтов А.Н., Аманжолов Т.Е.

Сравнительный анализ одномерных физико-гидродинамических моделей центробежного течения в рабочем колесе для минерализованных сред.....60

Сыздыкова А.М., Серикбаев Н.С., Кутум Б.Б.

Локальные преобразование типа кодамы и пределы интегрируемости расширенного уравнения Кортевега-де Фриза пятого порядка.....83

Уалиханова У.А., Усипкызы Т., Алтаева Г.С., Разина О.В.Расчёт экранированной модели $f(T)$ – гравитации.....101**Жадыранова А.А., Цыба П.Ю., Исмаил У.Қ., Ержан Б.**

Дивергентно-свободный параметр замедления, кинематические ограничения по данным DESI DR2 и космических хронометров.....123

Женискан К., Беков С.С., Сыздыкова А.М.

Влияние параметров Гауссового процесса на реконструкцию постоянной Хаббла.....146

ХИМИЯ

Амангелди Б., Жаникулов Н., Таймасов Б., Айтурсев М., Даулетияров М.

Исследование процессов обжига и белизны клинкеров белых цементов.....155

Байсалова Г.Ж., Бауыржанова Г.Б., Нияз Г.А., Талтенов А.А., Айнабаев А.А.

Изучение химического состава этанольных экстрактов манжетки обыкновенной методом газ хроматографии-масс-спектрометрии.....169

Бишимбаев В.К., Капсалямов Б.А.

Гидрогеохимические индикаторы воздействия сернокислотного выщелачивания урана на подземные воды районов Шиели и Жанакоргана.....183

Дарменбаева А.С., Аубакирова Р.А., Нургалиева Д.А., Абылкасова Г.Е., Абилямажинова Г.А.

Структурно-морфологические особенности полимер-металлических функциональных материалов.....205

Дюсебаева М.А., Берганаева А.Е., Ибрагимова Н.А., Утаралиев Д.М., Берганаева Г.Е. Зеленый синтез серебряных наночастиц с использованием N-бутанольной фракции Galega officinalis L.....	223
Дюсембекова С.Б., Утарова Д.А., Куспанов Ж.Б., Даулбаев Ч.Б., Абдикаримова У.А. Исследование влияния термической обработки SrTiO ₃ на фотокаталитической эффективности разложения амфотерного антибиотика.....	239
Исаева У.Б., Ахметова Г.С., Пралиев К.Д., Малмакова А.Е., Сейлханов Т.М. Гидрохлорид 1-бензил-4-(п-фторбензоилоксиимино) пиперидина в качестве кандидата в противомикробное средство.....	252
Қамұнұр Қ., Ысқақ М., Мұсапирова Л. Влияние химической модификации лигносульфоната натрия на его флотационные свойства в системе барит–кальцит.....	264
Кононов А., Қамұнұр Қ., Мұсапирова Л., Асылханова Д., Батқал А. Получение и исследование неорганического флокулянта Al–Fe–Mn на основе модифицированного бентонита.....	276
Курмангалиева А., Ахметова Ф., Карешова Ж., Исаков Р. ПДМА-модифицированный таганский бентонит для получения водорода при каталитической конверсии углеводородов.....	292
Куртебаева А.А., Álvarez-Torrellas S., Noor Haida Mohd Kaus., Gomes H.T., Калмаханова М.С. Модифицированные железом активированные угли из кукурузных початков для адсорбционно-окислительного удаления парацетамола и сульфаметоксазола.....	307
Надиров Р.К., Нуртазина Н.Д., Рыскалиева Р.Г. Моделирование поверхности отклика и оптимизация флотации ильменита с использованием модифицированного лигносульфонатного реагента.....	334
Нефедов А.Н., Тайекенова А.Т., Имашев Б.К., Нурисламов Р.М., Леонтьева К.А. Квантовые вычисления в моделировании коррозионных процессов.....	350
Нуркенов О.А., Фазылов С.Д., Сыздыков А.К., Кабиева С.К., Жаслан Р.К. Синтез и структурное исследование сульфопроизводных 3,5-диметилизоксазола совторичными аминами.....	365
Оразбекова Р.С., Тунгатарова С.А., Байжұманова Т.С., Кауменова Г.Б., Жұмабек М. Влияние состава реакционной смеси в паровом риформинге биоэтанола на высокоэнтропийном оксидном катализаторе.....	382
Рыскалиева Р.Г., Бейсембаева Л.К., Осеров Т.Б. Гидроциклонная классификация хвостов обогащения Балхашской обогажительной фабрики.....	398
Сасс А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Кензин Э.Н., Журинов М. Формирование и созревание фосфатных покрытий на стали из фосфатирующего раствора на основе спирта.....	418

Сдикова Г.Ж., Далабаева Н.С., Балкембай А.С., Сарова Н.Б., Жалтырбаева Н.К. Влияние состава электролита на свойства гальванических покрытий на основе цинка.....	435
Сейткалиева Н., Кусаинова Г., Журсумбаева М., Мохамад Ибрагим М.Н., Абдиев К. Исследование флокулирующих свойств сополимеров на основе итаконовой кислоты.....	448
Сергазина С.М., Нурмуханбетова Н.Н., Острцова Н.Б., Камзе А.Р., Касенова Н.Б. Комплексная оценка качества природной питьевой воды и статистический анализ физико-химических показателей.....	460
Талгаткызы А., Нажипкызы М., Отенов А., Сейтказинова А., Исанбекова А. Углеродные волокна на основе органосольв лигнина, полученного из древесных отходов, для применения в системах хранения энергии.....	475
Токтабаева А.К., Махаева Д.Н., Рахметуллаева Р.К., Рвайдарова Г.О., Исенова Г.Д. Синтез, структура и физико-химические свойства серосодержащих композитов на основе анилина, п-фенилендиамина, фенола и формальдегида.....	498
Ешманова Г.Б., Смагулов Д.У. Влияние частиц на основе кремния на формирование и состав ПЭО покрытий.....	517
Жортарова А.А., Kubicek V., Ибраев М.К., Панышина С.Ю., Сейдахметова Р.Б. N-фосфорилирование аминотиазолов и амино-тиадиазолов с помощью реагентов Р(III) и Р(V): синтез, структура и биологическая активность.....	538
Жусупова А., Тюменцева О., Антонюк В. Сравнительное исследование кинетики и энергетики планетарного измельчения отвального медеплавильного шлака и гранулированного шлака свинцовой плавки.....	553

ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES
ISSN 2224-5227
Volume 3.
Number 359 (2026), 33–44

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.461>

UDC: 544.526.5

IRSTI: 29.19.31

©Baratov A.G.^{1,2*}, Sailaubek A.², Serik A.S.², 2026.

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan;

²Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan.

*E-mail: baratovaibol01@gmail.com

SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF A NARROW-BANDGAP SrTaO₂N-BASED PHOTOCATALYST

Baratov Aibol — PhD student, Satbayev University; Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: baratovaibol01@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-7240-5259>;

Sailaubek Aididar — Master, Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: aididarsaiaubekkyzy@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-6461-5787>;

Serik Aigerim — PhD student, Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: aigerim.serik3508@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5136-7388>.

Abstract. SrTaO₂N is a promising narrow-bandgap oxynitride for the photocatalytic purification of water from organic pollutants due to its ability to absorb light in the visible region of the spectrum. However, its structural, morphological, and optical properties strongly depend on the synthesis conditions, particularly the ammonolysis temperature. In this study, the effect of NH₃ ammonolysis temperature in the range of 850–1000 °C on the formation of SrTaO₂N and its photocatalytic properties was systematically investigated. The phase composition, surface morphology, and optical characteristics of the obtained samples were analyzed, and their relationship with the photocatalytic degradation of tetracycline was evaluated. X-ray diffraction analysis revealed the presence of a secondary Ta₃N₅ phase together with the main SrTaO₂N phase in the samples prepared at relatively low temperatures. Increasing the ammonolysis temperature to 950–1000 °C promoted the elimination of the Ta₃N₅ phase and improved the crystallinity of SrTaO₂N. Morphological analysis demonstrated changes in particle size, shape, and degree of aggregation with increasing treatment temperature. Optical characterization revealed a gradual red shift of the absorption edge from 617 nm for STON850 to 644 nm for STON1000, while the bandgap energy remained nearly unchanged within a narrow range of 1.99–2.03 eV. The photocatalytic activity was evaluated through the degradation of tetracycline with an initial concentration of 5 mg/L under simulated solar irradiation. Among the investigated samples, STON1000 exhibited the highest photocatalytic activity, achieving approximately 72% tetracycline

degradation after 300 min of irradiation. Kinetic analysis using a pseudo-first-order model showed that STON1000 also exhibited the highest apparent rate constant of 0.00438 min^{-1} with an R^2 value of 0.96853. These results demonstrate that the ammonolysis temperature is an important parameter affecting the phase composition, crystallinity, morphology, optical characteristics, and photocatalytic performance of SrTaO_2N .

Keywords: SrTaO_2N ; oxynitride; photocatalysis; tetracycline; ammonolysis

Funding: *This research was conducted as part of the targeted funding program for the project IRN BR28712717, titled Comprehensive studies on the production and application of composite photocatalysts in hydrogen production to stimulate the development of alternative energy.*

For citations: Baratov A.G., Sailaubek A., Serik A.S. Synthesis and Investigation of a Narrow-Bandgap SrTaO_2N -Based Photocatalyst. *Academic Journal of Physical and Chemical Sciences*. 2026. No.3. Pp. 33–44. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.461>

©Баратов А.Г.^{1,2*}, Сайлаубек А.², Серік А.С.², 2026.

¹Satbayev University, Алматы, Қазақстан;

²Ядролық Физика институты, Алматы, Қазақстан.

*E-mail: baratovaibol01@gmail.com

SR₂TAO₂N НЕГІЗІНДЕГІ ТАР ТЫЙЫМ САЛЫНҒАН АЙМАҚТЫ ФОТОКАТАЛИЗАТОРДЫ АЛУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

Баратов Айбол — PhD докторант, Satbayev University; Ядролық Физика институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: baratovaibol01@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-7240-5259>;

Сайлаубек Айдиар — Магистр, Ядролық Физика институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: aididarsaibekkyzy@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-6461-5787>;

Serik Aigerim — PhD докторант, Ядролық Физика институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: aigerim.serik3508@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5136-7388>.

Аннотация. SrTaO_2N көрінетін жарық аймағында сәулені жұту қабілетіне байланысты суды органикалық ластағыштардан фотокаталитикалық тазарту үшін перспективалы тар тыйым салынған аймақты оксинитрид болып табылады. Алайда оның құрылымдық, морфологиялық және оптикалық қасиеттері синтез жағдайларына, әсіресе аммонолиз температурасына айтарлықтай тәуелді. Осы жұмыста NH_3 ортасында $850\text{--}1000^\circ\text{C}$ температура аралығында жүргізілген аммонолиздің SrTaO_2N түзілуіне және оның фотокаталитикалық қасиеттеріне әсері жүйелі түрде зерттелді. Алынған үлгілердің фазалық құрамы, беткі морфологиясы және оптикалық қасиеттері зерттеліп, олардың тетрациклиннің фотокаталитикалық ыдырауымен байланысы бағаланды. Рентгендік дифракция нәтижелері салыстырмалы түрде төмен температураларда алынған үлгілерде

SrTaO₂N негізгі фазасымен қатар Ta₃N₅ қосалқы фазасының болатынын көрсетті. Аммонолиз температурасын 950–1000 °C-қа дейін жоғарылату Ta₃N₅ фазасының жойылуына және SrTaO₂N кристалдылығының жоғарылауына ықпал етті. Морфологиялық зерттеулер температураның жоғарылауымен бөлшектердің өлшемі, пішіні және агрегация дәрежесі өзгеретінін көрсетті. Оптикалық зерттеулер нәтижесінде жұтылу шетінің STON850 үлгісі үшін 617 нм-ден STON1000 үлгісі үшін 644 нм-ге дейін ұзын толқынды аймаққа ығысқаны анықталды, ал тыйым салынған аймақ ені айтарлықтай өзгермей, 1,99–2,03 эВ аралығында болды. Фотокаталитикалық белсенділік бастапқы концентрациясы 5 мг/л тетрациклин ерітіндісінің имитацияланған күн сәулесі әсерінен ыдырауы бойынша бағаланды. Зерттелген үлгілер арасында STON1000 ең жоғары фотокаталитикалық белсенділік көрсетіп, 300 минут сәулелендіруден кейін тетрациклиннің шамамен 72%-ының ыдырауын қамтамасыз етті. Псевдобірінші ретті модель бойынша жүргізілген кинетикалық талдау STON1000 үлгісі үшін реакция жылдамдығының ең жоғары көрінерлік константасын - 0,00438 мин⁻¹, ал R² мәнін 0,96853 көрсетті. Алынған нәтижелер аммонолиз температурасының SrTaO₂N фазалық құрамына, кристалдылығына, морфологиясына, оптикалық сипаттамаларына және фотокаталитикалық белсенділігіне елеулі әсер ететінін көрсетеді.

Түйін сөздер: SrTaO₂N; оксинитрид; фотокатализ; тетрациклин; аммонолиз

©Баратов А.Г.^{1,2*}, Сайлаубек А.², Серік А.С.², 2026.

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан;

²Институт Ядерной физики, Алматы, Казахстан.

*E-mail: baratovaibol01@gmail.com

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ УЗКОЗОННОГО ФОТОКАТАЛИЗАТОРА НА ОСНОВЕ SrTaO₂N

Баратов Айбол — PhD докторант, Satbayev University; Институт Ядерной физики, Алматы, Казахстан,

E-mail: baratovaibol01@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-7240-5259>;

Сайлаубек Айдидар — магистр, Институт Ядерной физики, Алматы, Казахстан,

E-mail: aididarsaiaubekkyzy@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-6461-5787>;

Serik Aigerim — PhD докторант, Институт Ядерной физики, Алматы, Казахстан,

E-mail: aigerim.serik3508@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5136-7388>.

Аннотация. SrTaO₂N представляет собой перспективный узкозонный оксинитрид для фотокаталитической очистки воды от органических загрязнителей благодаря способности поглощать излучение в видимой области спектра. Однако его структурные, морфологические и оптические свойства в значительной степени зависят от условий синтеза, в частности от температуры аммонолиза. В настоящей работе систематически исследовано влияние NH₃-аммонолиза в диапазоне температур 850–1000 °C на формирование SrTaO₂N и его фотокаталитические свойства. Проведен анализ фазового состава,

морфологии поверхности и оптических характеристик полученных образцов, а также оценена их взаимосвязь с фотокаталитической деградацией тетрациклина. Результаты рентгеновской дифракции показали присутствие побочной фазы Ta_3N_5 наряду с основной фазой SrTaO_2N в образцах, полученных при относительно низких температурах. Повышение температуры аммонолиза до 950–1000 °C способствует устранению фазы Ta_3N_5 и повышению кристалличности SrTaO_2N . Морфологический анализ показал изменение размера, формы и степени агрегации частиц с увеличением температуры обработки. Оптические исследования выявили последовательное смещение края поглощения в длинноволновую область — от 617 нм для STON850 до 644 нм для STON1000, при этом ширина запрещённой зоны изменялась незначительно и находилась в диапазоне 1,99–2,03 эВ. Фотокаталитическую активность оценивали по деградации тетрациклина с начальной концентрацией 5 мг/л под действием имитированного солнечного излучения. Среди исследованных образцов наиболее высокую фотокаталитическую активность продемонстрировал STON1000, обеспечивший около 72% деградации тетрациклина после 300 мин облучения. Кинетический анализ с использованием модели псевдопервого порядка показал, что STON1000 также характеризуется максимальной кажущейся константой скорости реакции $0,00438 \text{ мин}^{-1}$ при $R^2=0,96853$. Полученные результаты показывают, что температура аммонолиза оказывает существенное влияние на фазовый состав, кристалличность, морфологию, оптические характеристики и фотокаталитическую активность SrTaO_2N .

Ключевые слова: SrTaO_2N ; оксинитрид; фотокатализ; тетрациклин; аммонолиз

Кіріспе. Су экожүйелерінің антибиотиктермен ластануы олардың кеңінен қолданылуына және дәстүрлі тазарту әдістерімен толық жойылмауына байланысты маңызды экологиялық мәселе болып табылады (Abbasnia et al., 2022; Danner et al., 2019; Yang et al., 2024). Тетрациклин (ТС) кең таралған антибиотиктердің бірі болып табылады және жоғары химиялық тұрақтылығымен сипатталады, бұл оның су ортасында ұзақ уақыт сақталуына ықпал етеді (Ghosh et al., 2023; Hamdan et al., 2026). Антибиотиктерді су ортасынан жою үшін адсорбция, мембраналық сүзу, озондау, биологиялық және электрохимиялық тазарту, сондай-ақ жетілдірілген тотығу процестері қолданылады (Gong et al., 2026; Mahmud et al., 2024; Quan et al., 2024; X. Zhang et al., 2025). Алайда бұл әдістердің кейбірі жоғары энергия шығынын, едәуір пайдалану шығындарын талап етуі немесе екіншілік өнімдердің түзілуіне әкелуі мүмкін. Сондықтан тұрақты органикалық ластаушы заттарды тиімді ыдыратудың энергия тиімді әдістерін әзірлеу өзекті міндет болып қала береді.

Гетерогенді фотокатализ жарық әсерінен фотогенерацияланған электрондар мен кемтіктерді түзүмүмкіндігіне байланысты тұрақты органикалық ластаушы заттарды ыдыратудың перспективалы тәсілі ретінде қарастырылады (Lee et al., 2023; L. Zhang et al., 2025). Алайда TiO_2 және SrTiO_3 сияқты тыйым салынған аймағы кең фотокатализаторлар негізінен күн сәулесі спектрінің ультракүлгін

бөлігін пайдаланады, бұл күн сәулесіне негізделген фотокатализдің тиімділігін шектейді (Serik et al., 2024; Серік, 2023). Сондықтан көрінетін жарық аймағында жұтылу қабілеті жоғары тар тыйым салынған аймақты жартылай өткізгіштерді әзірлеу күн сәулесіне негізделген фотокатализді дамытудың негізгі бағыттарының бірі болып табылады.

SrTaO_2N тыйым салынған аймағының салыстырмалы түрде тар болуына ($E_g \approx 2,1$ эВ) және фотокаталитикалық тотығу-тотықсыздану реакцияларына қолайлы энергетикалық аймақтарының орналасуына байланысты перспективалы перовскиттәрізді оксинитридтердің бірі болып табылады (Chen et al., 2023; Zhu et al., 2026). Алайда оның функционалдық қасиеттері материалдың нитридтелу дәрежесін, фазалық құрамын және кристалдылығын анықтайтын аммонолиз жағдайларымен тығыз байланысты. Сондықтан аммонолиз температурасы мен SrTaO_2N -ның құрылымдық және фотокаталитикалық сипаттамалары арасындағы байланысты анықтау ерекше қызығушылық тудырады.

Бұл жұмыста NH_3 ортасында 850–1000 °C аралығында жүргізілген аммонолиз температурасының SrTaO_2N фазалық құрамына, морфологиясына және оптикалық қасиеттеріне әсері жүйелі түрде зерттелді. Алынған үлгілердің фотокаталитикалық белсенділігі тетрациклиннің ыдырауы бойынша бағаланды, бұл оксинитридті фазаның температураға тәуелді түзілуі мен оның фотокаталитикалық тиімділігі арасындағы байланысты анықтауға мүмкіндік берді.

Материалдар мен әдістер. Стронций хлориді (SrCl_2 , Laborpharma), натрий гидроксиді (NaOH , Carlo Erba), тантал (V) оксиді (Ta_2O_5 , 99,95%, Macklin), изопропил спирті (99,5%, Macklin), тетрациклин (98%, Sigma-Aldrich).

Эксперимент. SrTaO_2N нанокристалдары тұзды флюс әдісімен синтезделіп және кейіннен әртүрлі температураларда аммонолиздеу арқылы алынды. Барлық үлгілер үшін бастапқы компоненттердің $\text{Sr}:\text{Ta} = 1:1$ тұрақты молярлық қатынасы сақталды. Есептелген мөлшердегі SrCl_2 және NaOH 1 мл изопропанолмен (IPA) араластырылып, ағат келіде 10 минут бойы мұқият ұнтақталды, содан кейін 15 минут бойы ультрадыбыстық өңдеуден өткізілді. Одан кейін Ta_2O_5 және қосымша 1 мл IPA қосылып, ұнтақтау және ультрадыбыстық өңдеу кезеңдері қайталанды. Алынған қоспа еріткіш толық жойылғанға дейін вакуумдық кептіргіш шкафта кептірілді. Кептірілген прекурсор корунд тигельге салынып, NH_3 үздіксіз ағынында 250 мл·мин⁻¹ жылдамдықпен 850, 900, 950 және 1000 °C температураларда 5 сағат бойы аммонолизденді. Термиялық өңдеуден кейін өнімдер қалдық еритін компоненттерді жою үшін ыстық деиондалған сумен жуылып, кептірілді. Алынған үлгілер аммонолиз температурасына сәйкес STON850, STON900, STON950 және STON1000 деп белгіленді.

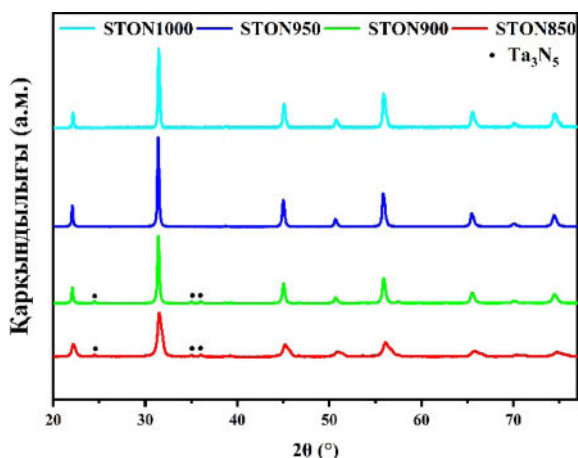
Сипаттамасы. SrTaO_2N морфологиясы JSM-6490LA сканерлеуші электрондық микроскопының (JEOL, Токио, Жапония) көмегімен зерттелді. Рентгендік фазалық талдау (XRD) MiniFlex ұнтақты рентгендік диффрактометрінде (Rigaku Corporation, Жапония) жүргізілді. Ультракүлгін және көрінетін аймақтағы (UV–Vis) оптикалық жұтылу спектрлері Cary 4000 UV–Vis спектрофотометрінің (Agilent Technologies, АҚШ) көмегімен тіркелді.

Фотокаталитикалық сынақ. Синтезделген үлгілердің фотокаталитикалық белсенділігі бастапқы концентрациясы 5 мг/л тетрациклиннің ыдырау дәрежесі бойынша бағаланды. Сәулелену көзі ретінде имитацияланған күн сәулесін қамтамасыз ететін қуаты 300 Вт ксенон шамы қолданылды. Эксперимент жүргізу үшін 5 мг фотокатализатор 50 мл антибиотик ерітіндісіне қосылды. Сәулелендіру алдында адсорбциялық-десорбциялық тепе-теңдікке қол жеткізу үшін суспензия қараңғыда 30 минут бойы үздіксіз араластырылды. Содан кейін суспензия үздіксіз араластыру жағдайында ксенон шамымен сәулелендірілді. Әр сағат сайын көлемі 1 мл аликвоталар алынып, сүзгіден өткізілді және УК–көрінетін спектроскопия әдісімен талданды. Тетрациклин концентрациясы оның максималды жұтылу толқын ұзындығындағы (ТС үшін 357 нм) оптикалық тығыздықтың өзгеруі бойынша анықталды. Фотодеградация дәрежесі келесі теңдеу бойынша есептелді:

$$(\eta\%) = [(C_0 - C_t) / C_0] \times 100$$

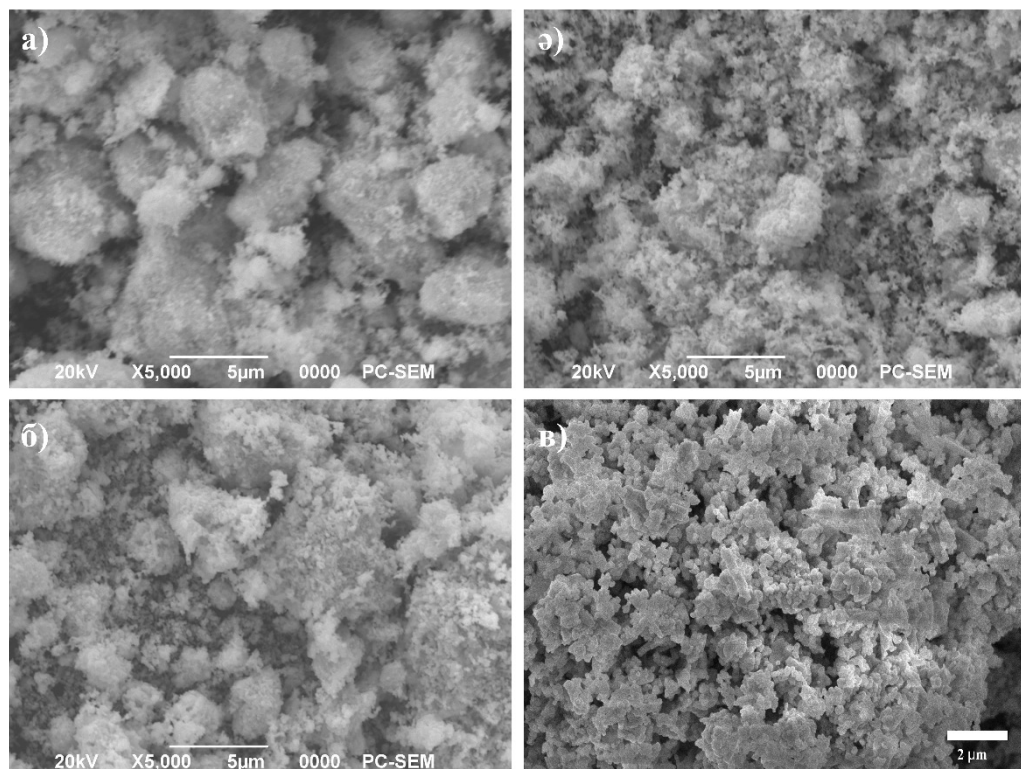
мұндағы C_0 және C_t — сәйкесінше сәулелендіруге дейінгі және t уақыт мезетіндегі тетрациклин концентрациялары. Әрбір тәжірибе екі тәуелсіз қайталауда жүргізілді ($n = 2$), ал нәтижелер орташа мән $\pm$ стандартты ауытқу түрінде ұсынылды.

Нәтижелер мен талқылаулар. Синтезделген үлгілердің фазалық құрамы мен кристалдық құрылымы рентгендік дифракция (XRD) әдісімен зерттелді (1-сурет). Дифрактограммалар фазалық құрамның аммонолиз температурасына айқын тәуелді екенін көрсетеді. STON850 және STON900 үлгілерінде SrTaO_2N -ге тән рефлекстермен қатар Ta_3N_5 фазасына сәйкес келетін қосымша дифракциялық шырдар байқалады, бұл салыстырмалы түрде төмен температураларда мақсатты оксинитридті фазаның толық қалыптаспағанын көрсетеді. Температураны 950 °C-қа дейін жоғарылатқанда Ta_3N_5 фазасына тән рефлекстер байқалмайды, SrTaO_2N фазасының қалыптасуының жақсарғанын көрсетеді. STON1000 үлгісінің негізгі дифракциялық максимумдары SrTaO_2N эталондық құрылымымен (ICDD PDF#79-1311) жақсы сәйкес келеді, бұл негізінен мақсатты оксинитридті фазаның қалыптасқанын растайды (Zeng et al., 2018). Сонымен қатар, температураның жоғарылауымен SrTaO_2N негізгі рефлекстерінің қарқындылығы біртіндеп артып, олардың ені азаяды. Бұл материалдың кристалдылық дәрежесінің жоғарылағанын және құрылымдық реттелуінің жақсарғанын көрсетеді. Осылайша, аммонолиз температурасын 950–1000 °C-қа дейін жоғарылату Ta_3N_5 қосымша фазасының азаюымен қатар жүреді және кристалдылығы жоғары SrTaO_2N түзілуіне ықпал етеді. Зерттелген үлгілер арасында STON1000 мақсатты SrTaO_2N фазасына ең жақсы сәйкестікті көрсетті.



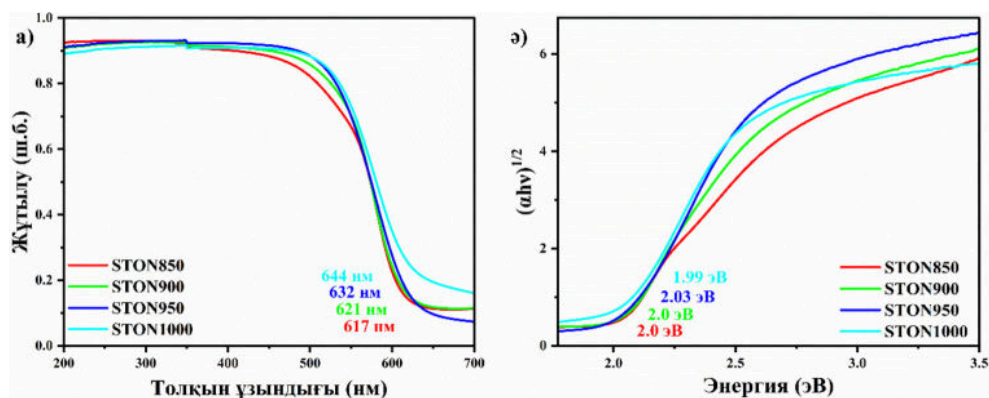
Сурет 1. Үлгілердің рентгендік дифракциялық талдауы.

Синтезделген SrTaO_2N үлгілерінің морфологиясы сканерлеуші электрондық микроскопия әдісімен зерттелді (2-сурет). Аммонолиз температурасының жоғарылауымен бөлшектердің морфологиясы мен агрегация дәрежесінде айқын өзгерістер байқалады. STON850 үлгісіне негізінен өлшемі шамамен 2-5 мкм болатын дұрыс емес пішінді ірі және тығыз агрегаттар тән. 900 °C температурада борпылдақ құрылымға ауысып, ұсақ бөлшектерден тұратын кеуекті морфология байқалады. Температураны одан әрі 950 °C-қа дейін жоғарылату материалдың біршама тығыздалуымен және агрегацияның күшеюімен қатар жүреді, бұл жоғары температура әсерінен жүретін пісу процестерімен байланысты болуы мүмкін. 1000 °C температурада өлшемі шамамен 100–400 нм болатын пішіні айқынырақ және салыстырмалы түрде біркелкі бөлшектер байқалады, олардың арасында түйіршік аралық байланыстар қалыптасқан. Осылайша, аммонолиз температурасы SrTaO_2N морфологиясының қалыптасуына айтарлықтай әсер етіп, бөлшектердің пішініне, өлшеміне және агрегация сипатына әсер етеді. Байқалған морфологиялық өзгерістер XRD нәтижелерінде анықталған фазалық және құрылымдық өзгерістермен сәйкес келеді және аммонолиз температурасының SrTaO_2N құрылымының қалыптасуында маңызды рөл атқаратынын көрсетеді.



Сурет 2. Үлгілерің электронды микроскопиялық кескіндері: (а)STON850, (ә)STON900, (б) STON950, (в)STON1000.

Оптикалық қасиеттері. Синтезделген үлгілердің оптикалық қасиеттері УК–көрінетін аймақтағы диффузиялық шағылу спектроскопиясы әдісімен зерттелді (3а-сурет). Аммонолиз температурасының жоғарылауымен оптикалық жұтылу шеті біртіндеп ұзын толқынды аймаққа ығысады: STON850 үлгісі үшін 617 нм-ден STON1000 үлгісі үшін 644 нм-ге дейін. Бұл өзгеріс аммонолиз температурасына байланысты SrTaO₂N оптикалық қасиеттерінің өзгеретінін көрсетеді және оксинитридті фазаның қалыптасу ерекшеліктерімен байланысты болуы мүмкін. Оптикалық тыйым салынған аймақ енін бағалау үшін $(ah\nu)^{1/2}$ координаталарында Тауц графиктері тұрғызылды (3ә-сурет). Алынған E_g мәндері 1,99–2,03 эВ аралығында болды: STON850, STON900, STON950 және STON1000 үлгілері үшін сәйкесінше 2,00; 2,00; 2,03 және 1,99 эВ. Осылайша, аммонолиз температурасының жоғарылауы оптикалық тыйым салынған аймақ енінің мәнін айтарлықтай өзгертпейді, алайда жұтылу шетінің көрінетін жарық аймағына біртіндеп ығысуымен қатар жүреді. Алынған нәтижелер аммонолиз температурасының жұтылу шетінің орналасуына тыйым салынған аймақ еніне қарағанда айқынырақ әсер ететінін көрсетеді.



Сурет 3. Үлгілерінің оптикалық қасиеттері: (а) УК-көрінетін аймақтағы жұтылу спектрлері және (б) Тауц графиктері.

SrTaO₂N үлгілерінің фотокаталитикалық белсенділігі катализатордың тұрақты мөлшерінде (5 мг) және ерітіндінің тұрақты көлемінде (50 мл) имитацияланған күн сәулесі әсерінен тетрациклиннің (ТС, 5 мг/л) ыдырауы бойынша бағаланды. Сәулелендіру алдында адсорбциялық-десорбциялық тепе-теңдік орнату үшін суспензиялар қараңғыда 30 минут ұсталды. Алынған C_t/C_0 кинетикалық тәуелділіктері 4а-суретте көрсетілген. Қараңғыда ұстау кезеңінде үлгілердің ТС-ге қатысты адсорбциялық қасиеттерінде айырмашылық байқалды. ТС-дің ең жоғары адсорбциясы STON850 үлгісінде байқалды, мұнда C_t/C_0 мәні шамамен 0,47-ге дейін төмендеді, ал STON900, STON950 және STON1000 үлгілері үшін бұл мәндер сәйкесінше шамамен 0,85; 0,77 және 0,79 құрады. Бос тәжірибеде ТС концентрациясы іс жүзінде өзгермеді ($C_t/C_0 = 0,98$). Бұл нәтижелер тетрациклиннің жалпы жойылуына фотокаталитикалық ыдыраумен қатар оның катализатор бетіне адсорбциялануы да үлес қосатынын көрсетеді.

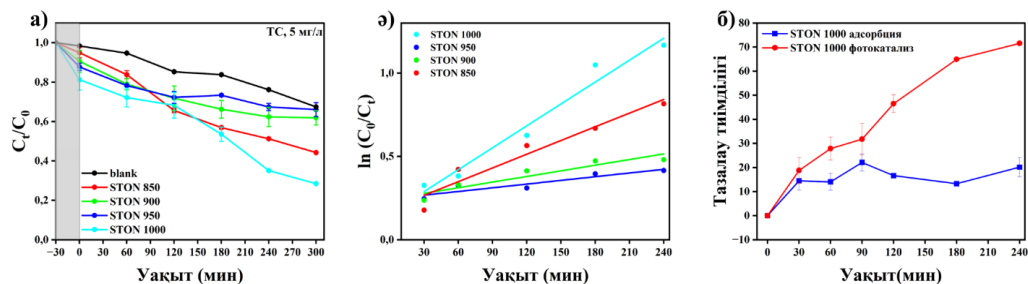
Кейінгі сәулелендіру барысында SrTaO₂N үлгілерінің қатысында ТС концентрациясының одан әрі төмендеуі байқалды. Зерттелген үлгілер арасында ең жоғары нәтиже STON1000 үлгісінде алынды: сәулелендіруден кейін тетрациклиннің жойылу дәрежесі шамамен 72% құрады. STON850, STON900 және STON950 үлгілері үшін бұл көрсеткіш сәйкесінше 55,8; 38,1 және 34% болды. Осылайша, фотокаталитикалық белсенділік келесі ретпен төмендеді: STON1000 > STON850 > STON900 > STON950. STON850 үлгісі қараңғы жағдайда ТС-дің ең жоғары адсорбциясын көрсеткенімен, сәулелендіру кезінде ең жоғары нәтиже STON1000 үлгісінде байқалды. Бұл адсорбциялық қасиеттер мен фотокаталитикалық белсенділіктің өзара тікелей тәуелді емес екенін және тетрациклиннің ыдырау процесін бағалау кезінде олардың үлесін жеке қарастыру қажеттігін көрсетеді.

Кинетикалық талдау псевдобірінші ретті модель негізінде жүргізілді:

$$\ln(C_0/C_t) = kt,$$

мұндағы C_0 және C_t - сәйкесінше бастапқы уақыттағы және t уақыт мезетіндегі ТС концентрациялары, ал k - реакция жылдамдығының көрінерлік константасы. Сызыктандырылған тәуелділіктер 4а-суретте көрсетілген. Зерттелген үлгілер үшін $\ln(C_0/C_t)$ мәнінің уақытқа тәуелділігі псевдобірінші ретті модельмен жақсы сәйкестік көрсетті, R^2 мәндері 0,85805–0,96853 аралығында болды. Ең жоғары көрінерлік жылдамдық константасы STON1000 үлгісі үшін анықталып, $0,00438 \text{ мин}^{-1}$ құрады ($R^2 = 0,96853$). STON850 үлгісі үшін $k = 0,00274 \text{ мин}^{-1}$ ($R^2 = 0,93007$), ал STON900 және STON950 үлгілері үшін сәйкесінше $0,00113 \text{ мин}^{-1}$ ($R^2 = 0,88125$) және $0,00070 \text{ мин}^{-1}$ ($R^2 = 0,85805$) мәндері алынды. Осылайша, реакция жылдамдығының көрінерлік константалары келесі ретпен төмендеді: STON1000 > STON850 > STON900 > STON950. Бұл нәтиже тетрациклиннің жойылу дәрежелерімен де сәйкес келеді және STON1000 үлгісінің зерттелген сериядағы ең жоғары фотокаталитикалық белсенділігін көрсетеді.

Осылайша, алынған нәтижелер аммонолиз температурасының SrTaO_2N фотокаталитикалық қасиеттеріне елеулі әсер ететінін көрсетеді. Зерттелген үлгілер арасында 1000°C температурада алынған STON1000 тетрациклиннің ең жоғары жойылу дәрежесімен (72%) және ең жоғары көрінерлік жылдамдық константасымен ($0,00438 \text{ мин}^{-1}$) сипатталды. Белсенділіктің өзгеруін тек оптикалық тыйым салынған аймақ енінің өзгеруімен түсіндіру жеткіліксіз, өйткені барлық үлгілердің E_g мәндері салыстырмалы түрде тар диапазонда ($1,99\text{--}2,03 \text{ эВ}$) орналасқан. XRD, SEM және UV-Vis DRS нәтижелерін ескере отырып, байқалған фотокаталитикалық қасиеттердің өзгеруі фазалық құрам, морфологиялық ерекшеліктер және оптикалық жұтылу сипаттамаларының өзгеруімен байланысты болуы мүмкін. Алынған нәтижелер аммонолиз температурасының SrTaO_2N құрылымдық және фотокаталитикалық қасиеттерін өзгертетін маңызды синтез параметрі екенін көрсетеді.



Сурет 4. Үлгілердің фотокаталитикалық белсенділігі: (а) тетрациклиннің ыдырау кинетикасы және (ә) псевдобірінші ретті кинетикалық модель, (б) STON1000 үлгісі үшін тетрациклиннің адсорбциясы мен фотокаталитикалық ыдырау тиімділігін салыстыру.

Кесте 1. SrTaO₂N үлгілерінің тетрациклинді фотокаталитикалық ыдырату тиімділігі және кинетикалық параметрлері.

Үлгі	Жылдамдық константасы (k) (мин ⁻¹)	R ²	Антибиотик ыдырауы
850	0,00274	0,93007	55,8
900	0,00113	0,88125	38,1
950	0,0007	0,85805	34
1000	0,00438	0,96853	72

Қорытынды. Бұл жұмыста NH₃ ортасындағы аммонолиз температурасының (850–1000 °C) SrTaO₂N түзілуіне және оның фотокаталитикалық қасиеттеріне әсері жүйелі түрде зерттелді. Температураның жоғарылауы Ta₃N₅ қосалқы фазасына тән рефлекстердің азаюымен және SrTaO₂N фазасының жақсырақ қалыптасуымен қатар жүрді. STON1000 үлгісінің негізгі дифракциялық рефлекстері SrTaO₂N эталондық құрылымымен жақсы сәйкестік көрсетті. Сонымен қатар, материалдың морфологиясы да өзгерді: 850 °C температурадағы өлшемі шамамен 2–5 мкм болатын ірі және тығыз агрегаттардан 1000 °C температурада өлшемі шамамен 100–400 нм болатын пішіні айқынырақ және салыстырмалы түрде біркелкі бөлшектерге дейін морфологиялық өзгерістер байқалды. Аммонолиз температурасы SrTaO₂N оптикалық сипаттамаларына да әсер етті. Аммонолиз температурасының жоғарылауымен жұтылу шеті 617 нм-ден 644 нм-ге дейін ұзын толқынды аймаққа ығысқанымен, E_g мәні 1,99–2,03 эВ аралығында айтарлықтай өзгерген жоқ. Тетрациклиннің фотокаталитикалық деградациясы кезінде зерттелген үлгілер арасында тетрациклиннің ең жоғары жойылу дәрежесі STON1000 үлгісінде байқалып, шамамен 72% құрады. Сонымен қатар, STON1000 үшін ең жоғары көрінерлік жылдамдық константасы $k = 0,00438 \text{ мин}^{-1}$ анықталды ($R^2 = 0,96853$). Жалпы алғанда, алынған нәтижелер аммонолиз температурасының SrTaO₂N фазалық құрамына, морфологиясына және оптикалық қасиеттеріне әсер ететінін көрсетті. Зерттелген температуралар арасында 1000 °C-та алынған STON1000 үлгісі тетрациклиннің ең жоғары жойылу дәрежесімен және ең жоғары көрінерлік жылдамдық константасымен сипатталды. Бұл нәтижелер SrTaO₂N құрылымдық, оптикалық және фотокаталитикалық қасиеттерінің қалыптасуында аммонолиз температурасының маңызды синтез параметрі екенін көрсетеді.

References

- Abbasnia A., Zarei A., Yeganeh M., Sobhi H. R., Gholami M., Esrafil A. (2022). Removal of tetracycline antibiotics by adsorption and photocatalytic-degradation processes in aqueous solutions using metal organic frameworks (MOFs): A systematic review. *Inorganic Chemistry Communications*. – Vol. 145. – P. 109959. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2022.109959> (in Eng.).
- Chen K., Xiao J., Veqizoj J. J. M., Hisatomi T., Ma Y., Nakabayashi M., Takata T., Yamakata A., Shibata N., Domen K. (2023). Overall Water Splitting by a SrTaO₂N-Based Photocatalyst Decorated with an Ir-Promoted Ru-Based Cocatalyst. *Journal of the American Chemical Society*. – Vol. 145 (7). – P. 3839–3843. <https://doi.org/10.1021/jacs.2c11025> (in Eng.).
- Danner M.-C., Robertson A., Behrends V., Reiss J. (2019). Antibiotic pollution in surface fresh waters: Occurrence and effects. *Science of The Total Environment*. – Vol. 664. – P. 793–804. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.406> (in Eng.).

Ghosh S., Chakraborty K., Pal T., Ghosh S. (2023). Photocatalytic degradation of tetracycline antibiotics by RGO-CdTe composite with enhanced apparent quantum efficiency. *Scientific Reports*. – Vol. 13 (1). – P. 19028. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46120-0> (in Eng.).

Gong W., Xue M., Yang L., Yin J., Lu J., Zhang H. (2026). Combining riverbank filtration with membrane filtration for drinking water purification: Antibiotic resistance genes control and biofilm response. *Journal of Cleaner Production*. – Vol. 555. – P. 148152. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2026.148152> (in Eng.).

Hamdan Y., Zyoud A. H., Al-Shakhshir S., Zyoud S., Amireh A., Zyoud S. H., Kim T. W. (2026). The ZnO/Bentonite composite for sustainable tetracycline removal from water: Adsorption and photocatalysis for effective wastewater treatment. *Next Materials*. – Vol. 11. – P. 101655. <https://doi.org/10.1016/j.nxmate.2026.101655> (in Eng.).

Lee D.-E., Kim M.-K., Danish M., Jo W.-K. (2023). State-of-the-art review on photocatalysis for efficient wastewater treatment: Attractive approach in photocatalyst design and parameters affecting the photocatalytic degradation. *Catalysis Communications*. – Vol. 183. – P. 106764. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2023.106764> (in Eng.).

Mahmud F., Banhi T. S., Roy H., Dihan M. R., Islam Md. S., Cai Y., Asiri A. M., Rahman M. M., Hasan Md. M., Shenashen M. A., Islam A., Sheikh Md. C., Awual Md. R. (2024). Antibiotic-contaminated wastewater treatment and remediation by electrochemical advanced oxidation processes (EAOPs). *Groundwater for Sustainable Development*. – Vol. 25. – P. 101181. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101181> (in Eng.).

Quan H., Jia Y., Zhang H., Ji F., Shi Y., Deng Q., Hao T., Khanal S. K., Sun L., Lu H. (2024). Insights into the role of electrochemical stimulation on sulfur-driven biodegradation of antibiotics in wastewater treatment. *Water Research*. – Vol. 266. – P. 122385. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122385> (in Eng.).

Serik A., Kuspanov Z., Bissenova M., Idrisov N., Yeleuov M., Umirzakov A., Daulbayev C. (2024). Effective photocatalytic degradation of sulfamethoxazole using PAN/SrTiO₃ nanofibers. *Journal of Water Process Engineering*. – Vol. 66. – P. 106052. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.106052> (in Eng.).

Serik A., Kuspanov Zh., Idrisov N., Bissenova M., Daulbayev Ch. (2023). Sravnitel'nyy analiz kharakteristik odnomernykh volokon s raznoobraznymi sostavami i strukturoy. [Comparative Analysis of the Characteristics of One-Dimensional Fibers with Diverse Compositions and Structures]. *Academic Journal of Physical and Chemical Sciences*. – Vol. 348 (4). – P. 114-126. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.247> (in Russ.).

Yang W., Li J., Yao Z., Li M. (2024). A review on the alternatives to antibiotics and the treatment of antibiotic pollution: Current development and future prospects. *Science of The Total Environment*. – Vol. 926. – P. 171757. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171757> (in Eng.).

Zeng W., Bian Y., Cao S., Ma Y., Liu Y., Zhu A., Tan P., Pan J. (2018). Phase Transformation Synthesis of Strontium Tantalum Oxynitride-Based Heterojunction for Improved Visible Light-Driven Hydrogen Evolution. *ACS Applied Materials & Interfaces*. – Vol. 10 (25). – P. 21328-21334. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b04837> (in Eng.).

Zhang L., Wang Y., Shen Y., Xu H., Mu C., Wang Y., He Z., Zhang Z., Xue J. (2025). High-efficiency tetracycline degradation via adsorption-photocatalysis synergy over recyclable Bi-BDC/Bi₃NbO₇/cellulose aerogel composites. *International Journal of Biological Macromolecules*. – Vol. 328. – P. 147600. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.147600> (in Eng.).

Zhang X., Xue X., Hu J. (2025). Combined ozonation-biological activated carbon process for antibiotic resistance control in treated effluent from wastewater treatment plant. *Water Research*. – Vol. 268. – P. 122610. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122610> (in Eng.).

Zhu Y., Li N., Li D., Zou H., Dong B., Qi Y., Gong L. (2026). Aluminum-doped mesoporous single-crystalline SrTaO₂N for boosted photocatalytic hydrogen production. *Journal of Catalysis*. – Vol. 459. – P. 116929. <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2026.116929> (in Eng.).

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty)

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). 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.

Requirements for articles design for publication in the journal are available on the websites:

www.nauka-nanrk.kz

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

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

Managing Editor: T. Apendiev
Editors: D.S. Alenov, A. Shormakova
Computer layout: G.D. Zhadyranova

Signed for print: September 29, 2026
Format: 70×90 1/16. 34.5 printed sheets. Order No. 3.

*«Central Asian Academic Research Center» LLP
Almaty, Shevchenko Street, 28*