

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>

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрыңұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ХҒАҚ және ҚР ҰҒА академигі, Мұнай өңдеу және мұнай-химиясы ғылыми-зерттеу институтының бас директоры (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960%2017489>; <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакция ұжымы:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нұрәділұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, "Фитохимия" ғылыми-өндірістік орталығы " АҚ директоры (Қарағанды, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

РАМАЗАНОВ Тілеккабыл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

ӘБИЕВ Руфат, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны оңтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

ОЛИВЬЕРО Росси Сесаре, PhD (химия), Калабрия университетінің профессоры (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

ТИГІНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

САНГ-СУ Квак, PhD (биохимия, агрохимия), профессор, Корея Биология және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIIBV), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері, (Дэчон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. (Астана, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

КАЛАНДРА Пьетро, PhD (физика), нанотехнология материалдары зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

БҮРКІТБАЕВ Мұхамбетқали, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

QUEVEDO Hernando, профессор, Мексика ұлттық автономиялық университеті (UNAM), Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ЖҮСІПОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

ӘБІШЕВ Медеу Ержанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

ӘБІЛМАҒЖАНОВ Арлан Зайнуталлайұлы, химия ғылымдарының кандидаты, Д.В. Сокольский атындағы "Отын, катализ және электрохимия институты" АҚ Бас директорының бірінші орынбасары, (Алматы, Қазақстан), <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)

Меншіктеуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы қ.).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі 05.06.2025 ж. берген № KZ93VPY00121157 Куәлік.

Тақырыптық бағыты: физика, химия.

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

<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), (Дэжон, 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 флокулянт 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., Нажипқызы М., Өтенов Ә., Сейтқазинаова Ә., Исанбекова А. Ағаш қалдықтарынан алынған органосольв лигнин негізіндегі көміртеккі 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
Жұсупова 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., Тайкенова 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., Жумабек 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 аминок-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), 418-434

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.484>

UDC: 66.095.81: 620.193
IRSTI: 31.35.15, 31.15.17, 53.43.13

©Sass A.S.*, Torlopov I.I.¹, Rakhmetova K.S.¹, Kenzin E.N.¹,
Zhurinov M.², 2026.

¹JSC «D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry»,
Almaty, Kazakhstan;

²Research Institute of Oil Refining and Petrochemistry, Almaty, Kazakhstan.

*E-mail: aleksandr-sass@mail.ru

FORMATION AND MATURATION OF PHOSPHATE COATINGS ON STEEL FROM AN ALCOHOL-BASED PHOSPHATING SOLUTION

Sass Aleksandr — Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: aleksandr-sass@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4049-6314>;

Torlopov Ivan — Master of Chemical Sciences, Junior Researcher, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: myndfrea@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-9660-6397>;

Rakhmetova Kenzhegul — Master of Chemical Sciences, Researcher, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: rahmetova_75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2098-3169>;

Kenzin Elmir — laboratory assistant, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: elmirkenzin@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-2025-5689>;

Zhurinov Murat — Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of the International Association of Academies of Sciences (IAAS) and the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan (NAS RK), Research Institute of Oil Refining and Petrochemistry, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: mur.zhurinov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-5003-5037>.

Abstract. Cold phosphating is of practical interest for the corrosion protection of large and complex-shaped steel products for which the use of heated phosphating baths is difficult. Alcohol-based phosphating compositions make it possible to perform treatment at room temperature, although the formation and subsequent maturation of such coatings remain insufficiently understood. This study aimed to investigate the formation and evolution of the properties of a phosphate coating on St20 steel produced from an alcohol-based composition containing H_3PO_4 , $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$, isopropyl alcohol, and water. Methods. Surface morphology and elemental composition were studied by SEM–EDS; changes in soluble surface components were evaluated from the pH of aqueous washings; the chemical nature of the products was examined by FTIR



spectroscopy; and the thermal behavior of the coating was investigated by temperature-programmed desorption. Protective ability was assessed using the accelerated Akimov drop test. Results. Coating formation was found to continue during prolonged aging in air after application. At early aging times, the elemental compositions of the two sides of the samples differed, and the Fe, Zn, P, and O contents changed non-monotonically; after prolonged aging, the compositions of the two surfaces became similar. The pH of the aqueous washings decreased to 3.78 after 2 h and subsequently increased to 4.32 after 250 h. At the same time, the Akimov resistance increased from 3 to 105 s. FTIR spectroscopy confirmed the formation of hydrated zinc- and iron-containing phosphate compounds, while TPD indicated a gradual decrease in the fraction of thermally labile components during aging. Practical significance. Post-application aging should therefore be regarded as an independent technological stage governing coating maturation and the development of protective properties during cold phosphating.

Keywords: phosphate coatings, cold phosphating, alcohol-containing composition, coating maturation, corrosion resistance

Funding: The work was conducted with financial support from the target-funded program of MSHE RK, BR24992812, “Development of materials and technologies aimed at comprehensive corrosion protection of technological equipment in the petrochemical, machine-building, and instrument-making industries”.

For citations: 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. *Academic Journal of Physical and Chemical Sciences*. 2026. No.3. Pp. 418-434. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.484>

©Сасс А.С.^{1*}, Торлопов И.И.¹, Рахметова К.С.¹, Кензин Э.Н.¹,
Жұрынов М.², 2026.

«Д.В. Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты»
АҚ, Алматы, Қазақстан;

²Мұнай өңдеу және мұнай химиясы ғылыми зерттеу институты,
Алматы, Қазақстан.

*E-mail: aleksandr-sass@mail.ru

СПИРТ НЕГІЗІНДЕГІ ФОСФАТТАУ ЕРІТІНДІСІНЕН БОЛАТ БЕТІНДЕ ФОСФАТТЫ ЖАБЫНДАРДЫҢ ҚАЛЫПТАСУЫ ЖӘНЕ ЖЕТІЛУІ

Сасс Александр — химия ғылымдарының кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер, «Д.В. Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: aleksandr-sass@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4049-6314>;

Торлопов Иван — химия ғылымдарының магистрі, кіші ғылыми қызметкер, «Д.В. Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: myndfrea@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-9660-6397>;

Рахметова Кенжегүл — химия ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, «Д.В. Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан, E-mail: rahmetova_75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2098-3169>;

Кензин Эльмир — зертханашы, «Д.В. Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: elmirkenzin@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-2025-5689>;

Жұрынов Мұрат — химия ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ғылым академиялары қауымдастығының (IAAS) және Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының (ҚР ҰҒА) академигі, Мұнай өңдеу және мұнай химиясы ғылыми зерттеу институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: mur.zhurinov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-5003-5037>.

Аннотация. Суық фосфаттау қыздырылатын фосфаттау ванналарын қолдану қиын болатын ірі габаритті және күрделі пішінді болат бұйымдарды коррозиядан қорғау үшін практикалық қызығушылық тудырады. Құрамында спирті бар композициялар өндеуді бөлме температурасында жүргізуге мүмкіндік береді, алайда мұндай жабындардың түзілуі мен кейінгі жетілу процестері жеткілікті зерттелмеген. Жұмыстың мақсаты H_3PO_4 , $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, изопропил спирті және су негізіндегі спиртқұрамды композициядан Ст20 болатында алынған фосфатты жабынның қалыптасуы мен қасиеттерінің өзгеруін зерттеу болды. Бет морфологиясы мен элементтік құрамы СЭМ–ЭДС әдісімен зерттелді; еритін компоненттердің өзгеруі су шайындыларының рН мәні бойынша бағаланды; өнімдердің химиялық табиғаты ИҚ-спектроскопиямен анықталды; жабынның термиялық мінез-құлқы температуралық бағдарламаланған десорбция әдісімен зерттелді. Қорғаныш қабілеті Акимовтың жеделдетілген әдісімен анықталды. Композиция жағылғаннан кейін жабынның қалыптасуы ауада ұзақ ұстау барысында жалғасатыны анықталды. Ерте сатыларда үлгінің екі жағының элементтік құрамы ерекшеленеді, ал Fe, Zn, P және O мөлшері монотонды емес өзгереді; ұзақ ұстаудан кейін екі беттің құрамы жақындайды. Су шайындыларының рН мәні 2 сағаттан кейін 3,78-ге дейін төмендеп, 250 сағаттан кейін 4,32-ге дейін жоғарылайды. Осы кезде Акимов бойынша төзімділік 3-тен 105 с-қа дейін артып, жабынның қорғаныш қасиеттерінің біртіндеп қалыптасуын көрсетеді. ИҚ-спектроскопия мырыш пен темірдің гидратталған фосфатты қосылыстарының түзілуін растайды, ал ТБД деректері термиялық лабильді компоненттер үлесінің біртіндеп азаятынын көрсетеді. Жағудан кейінгі ұстау суық фосфаттау кезінде жабынның жетілуін, құрамының тұрақтануын және қорғаныш қасиеттерін анықтайтын дербес технологиялық саты болып табылатыны көрсетілді.

Түйін сөздер: фосфат жабындары, суық фосфаттау, спирт құрамды композиция, жабынның жетілуі, коррозияға төзімділік

©Сасс А.С.^{1*}, Торлопов И.И.¹, Рахметова К.С.¹, Кензин Э.Н.¹,
Журинов М.², 2026.

¹АО «Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского»,
Алматы, Казахстан;

²Научно-исследовательский институт нефтепереработки и нефтехимии,
Алматы, Казахстан.

*E-mail: aleksandr-sass@mail.ru

ФОРМИРОВАНИЕ И СОЗРЕВАНИЕ ФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛИ ИЗ ФОСФАТИРУЮЩЕГО РАСТВОРА НА ОСНОВЕ СПИРТА

Сасс Александр — кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан,
E-mail: aleksandr-sass@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4049-6314>;

Торлопов Иван — магистр химических наук, младший научный сотрудник, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан,
E-mail: myndfrea@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-9660-6397>;

Рахметова Кенжегуль — магистр химических наук, научный сотрудник, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан,
E-mail: rahmetova_75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2098-3169>;

Кензин Эльмир — лаборант, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан,
E-mail: elmirkenzin@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-2025-5689>;

Журинов Мурат — доктор химических наук, профессор, академик Международной ассоциации академий наук (IAAS) и Национальной академии наук Республики Казахстан (НАН РК), Научно-исследовательский институт нефтепереработки и нефтехимии, Алматы, Казахстан,
E-mail: mur.zhurinov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-5003-5037>.

Аннотация. Холодное фосфатирование представляет интерес для противокоррозионной защиты крупногабаритных и сложнопрофильных стальных изделий, для которых применение нагреваемых фосфатирующих ванн затруднено. Использование спиртосодержащих композиций позволяет проводить обработку при комнатной температуре, однако процессы формирования и последующего созревания таких покрытий изучены недостаточно. Целью работы являлось исследование формирования и изменения свойств фосфатного покрытия на стали Ст20, полученного из спиртосодержащей композиции на основе H_3PO_4 , $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ и изопропилового спирта. Морфологию и элементный состав поверхности изучали методом СЭМ–ЭДС; изменение растворимых компонентов оценивали по pH водных смывов; химическую природу продуктов определяли методом ИК-спектроскопии; термическое поведение покрытия исследовали методом температурно-программированной десорбции. Защитную способность определяли ускоренным методом Акимова. Установлено, что после нанесения композиции формирование покрытия продолжается в ходе длительной выдержки на воздухе. На ранних стадиях элементный состав двух сторон образца различается, а содержание Fe, Zn, P и O изменяется немонотонно; при длительной выдержке составы поверхностей сближаются. pH водных смывов

снижается до 3,78 через 2 ч, затем возрастает до 4,32 через 250 ч. Одновременно стойкость по Акимову увеличивается с 3 до 105 с, что свидетельствует о постепенном развитии защитных свойств слоя. ИК-спектроскопия подтверждает образование гидратированных фосфатных соединений цинка и железа, а данные ТПД свидетельствуют о постепенном уменьшении доли термически лабильных компонентов. Показано, что выдержка после нанесения является самостоятельной технологической стадией, определяющей созревание, стабилизацию состава и защитные свойства покрытия при холодном фосфатировании.

Ключевые слова: фосфатные покрытия, холодное фосфатирование, спиртосодержащая композиция, созревание покрытия, коррозионная стойкость

Введение. Фосфатирование относится к наиболее распространенным методам химической обработки поверхности углеродистых и низколегированных сталей и широко применяется как для повышения коррозионной стойкости металлических изделий, так и в качестве стадии подготовки поверхности перед нанесением лакокрасочных, смазочных и других защитных материалов (Narayanan, 2005; Burduhos-Nergis et al., 2023; Jiang et al., 2020; Sass et al., 2026). Формирование фосфатного слоя протекает непосредственно на границе металл–электролит и связано с частичным растворением металлической подложки в кислой среде с последующим осаждением малорастворимых фосфатных соединений. В цинк-фосфатных системах покрытие преимущественно представлено гидратированными фосфатами цинка и смешанными фосфатами цинка и железа, включая соединения типа гопейта $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ и фосфофиллита $Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$. Химический и фазовый состав, морфология и пористость сформированного слоя в значительной степени определяют его защитные и адгезионные свойства (Burduhos-Nergis et al., 2023; Jiang et al., 2020; Ravichandran et al., 2001).

Традиционные процессы цинкового фосфатирования основаны преимущественно на водных растворах и часто проводятся при повышенной температуре с использованием различных ускорителей (Narayanan, 2005; Alinezhadfar et al., 2025). Однако при обработке крупногабаритных конструкций и оборудования применение фосфатирующих ванн может быть затруднено, что обуславливает интерес к составам холодного фосфатирования, наносимым непосредственно на поверхность распылением или орошением. В таких условиях существенное значение приобретают не только химическая активность раствора, но также его смачивающая способность и удержание на наклонных и вертикальных поверхностях. Для улучшения этих характеристик в водные композиции вводят поверхностно-активные и другие органические добавки (Alinezhadfar et al., 2025; Liu et al., 2020; Rumyantseva et al., 2021; Konovalova et al., 2023), однако их нелетучие остатки могут нежелательно влиять на последующие стадии обработки.

Альтернативным подходом к созданию составов для холодного фосфатирования может являться использование безводных органических сред, в частности, на основе спиртов. Низшие спирты характеризуются хорошей смачивающей

способностью по отношению к металлическим поверхностям и после нанесения сравнительно быстро удаляются вследствие испарения, не оставляя нелетучего органического остатка и сохраняя высокую степень равномерности покрытия поверхности без образования отдельных капель. При этом высокая растворимость ортофосфорной кислоты в низших спиртах позволяет ввести необходимое ее количество за один цикл нанесения, что существенно упрощает процесс фосфатирования крупных металлоконструкций. Это представляет интерес при разработке фосфатирующих композиций, предназначенных для нанесения непосредственно на поверхность металла. В отличие от традиционного процесса, в таких условиях формирование покрытия может продолжаться и после удаления избытка раствора, поэтому существенное значение приобретает изменение поверхностного слоя в процессе выдержки на воздухе.

В связи с этим целью настоящей работы являлось исследование формирования и последующего созревания фосфатных покрытий на углеродистой стали, полученных из спиртосодержащего состава для холодного фосфатирования, а также оценка изменения состава и защитных свойств покрытия в зависимости от продолжительности выдержки после нанесения. Для характеристики формирующегося слоя использовали сканирующую электронную микроскопию с энергодисперсионным анализом, ИК-спектроскопию, анализ pH водных смывов, температурно-программированную десорбцию и ускоренные коррозионные испытания по методу Акимова.

Материалы и методы. *Материалы.* В качестве металлической подложки использовали низкоуглеродистую сталь марки Ст20. Для исследования элементного состава и морфологии покрытий применяли металлические пластины, а для изучения процессов, протекающих при последующей выдержке покрытия, – стружку.

Для получения покрытий использовали спиртосодержащую фосфатирующую композицию на основе фосфорной кислоты H_3PO_4 («х.ч.», ГОСТ 6552–80), ацетата цинка $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ («х.ч.», ГОСТ 5823–78), изопропилового спирта (ГОСТ 9805–84) и дистиллированной воды. Состав рабочего раствора имел вид: H_3PO_4 (85% масс.) – 200 г/кг; $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ – 50 г/кг; изопропиловый спирт – 750 г/кг.

Методы. Методика предварительной механической обработки стальных пластин описана в (Sass et al., 2025). Перед фосфатированием образцы обезжиривали и тщательно высушивали.

Фосфатные покрытия наносили на предварительно подготовленные образцы стали Ст20 при температуре 25 °С окунанием в рабочий раствор. После извлечения образцов избыток раствора удаляли стеканием, сформированный слой выдерживали на воздухе при комнатной температуре в течение заданного времени. Для исследования динамики формирования покрытия выдержку проводили от 5 мин до 500 ч. В опытах с металлической стружкой образец массой 10 г помещали в фосфатирующий раствор, после чего отделяли избыток раствора на фильтре Шотта и выдерживали образец на воздухе при комнатной температуре.

Для оценки количества растворимых кислых компонентов покрытия после заданного времени выдержки фосфатированную стружку помещали в 25 см³ дистиллированной воды и выдерживали в течение 30 мин при перемешивании. После отделения твердой фазы определяли pH полученного водного смыва с использованием pH-метра pH-150МИ («Измерительная техника», РФ) с комбинированным электродом и термодатчиком. Для этой серии исследованы образцы после выдержки 5 мин, 20 мин, 2, 10, 50 и 250 ч.

Морфологию и элементный состав поверхности покрытий исследовали методом сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным микроанализом (СЭМ–ЭДС) на низковакуумном сканирующем электронном микроскопе JSM-6610LV (JEOL, Япония).

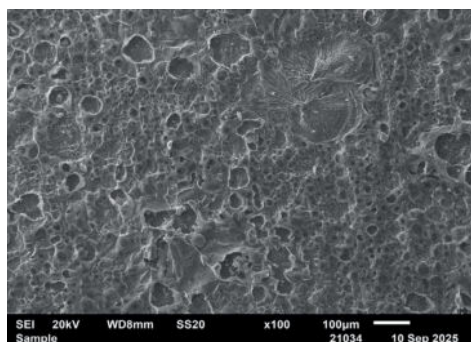
Химическую природу фосфатной составляющей дополнительно исследовали методом инфракрасной спектроскопии (ИКС) на ИК-Фурье-спектрометре Nicolet iS5 (Thermo Fisher Scientific, Италия) при комнатной температуре в диапазоне 4000–400 см⁻¹. Образцы запрессовывались в таблетки с KBr. Для анализа использовали соскоб покрытия и твердую фазу, выделенную из водных смывов.

Температурно-программированную десорбцию (ТПД) проводили на установке собственного изготовления с анализом состава выходящего газового потока на хроматографе «Хроматэк–Кристалл 5000» с детектором по теплопроводности, газ-носитель – аргон. Испытанию подвергали фосфатированную стружку после различного времени выдержки. Скорость газа-носителя составляла 30 см³/мин, нагрев осуществляли со скоростью 10 °С/мин до 1100 °С с последующей выдержкой при конечной температуре в течение 40 мин.

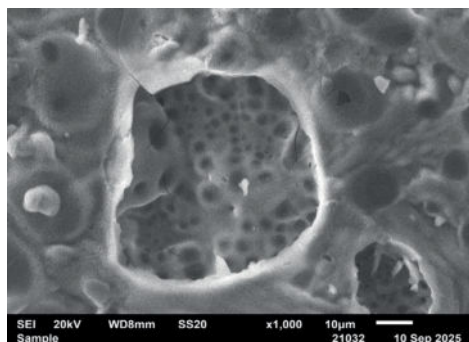
Защитные свойства покрытий оценивали методом Акимова по времени до прорыва покрытия, сопровождавшегося изменением цвета капли от синезеленого до красного (Bold et al., 2020; Sass et al., 2025; Sass et al., 2026).

Результаты и обсуждение. На начальном этапе исследования проводили подбор состава спиртосодержащей фосфатирующей композиции, при этом основное внимание уделяли получению однородной и стабильной композиции, пригодной для нанесения при комнатной температуре. В качестве основной жидкой фазы использовали изопропиловый спирт, источником цинка служил $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ ввиду его сравнительно высокой растворимости в спиртах. Соотношение компонентов подбирали таким образом, чтобы обеспечить отсутствие осадка при хранении и одновременно сохранить высокую долю спирта в составе фосфатирующей композиции.

Морфологию сформированного покрытия исследовали методом сканирующей электронной микроскопии после его выдержки при комнатной температуре. Результаты исследования представлены на Рисунке 1.



а



б

Рисунок 1. Микрофотографии СЭМ образцов поверхности пластин марки Ст20 после фосфатирования с использованием спиртосодержащего раствора при увеличении: (а) $\times 300$; (б) $\times 1000$.

Данные СЭМ показывает, что обработка спиртосодержащей фосфатирующей композицией приводит к формированию развитого поверхностного слоя с выраженно неоднородным микрорельефом (Рисунок 1). Покрытие содержит участки относительно сплошной фазы, округлые полости и локальные образования различного размера. Энергодисперсионный анализ подтвердил присутствие в поверхностном слое P, Zn и O наряду с Fe, который присутствует как в виде металлической подложки, так и в виде фосфатов железа.

Для оценки динамики формирования покрытия элементный состав обеих сторон образцов определяли после выдержки в течение 5 и 20 мин, 2, 10, 50 и 250 ч с последующим удалением избытка фосфорной кислоты и растворимых фосфатов цинка и железа. Полученные зависимости содержания Fe, Zn, P и O от продолжительности выдержки представлены в Таблице 1 и на Рисунке 2.

Таблица 1. Элементный состав двух сторон фосфатированных образцов стали Ст20 после различной продолжительности выдержки после нанесения*.

Время старения, мин	Содержание элемента, масс. %			
	Fe	Zn	P	O
5	85,50 / 78,92	1,12 / 1,22	1,59 / 1,37	11,23 / 17,88
20	79,37 / 57,13	2,06 / 4,61	2,87 / 8,37	15,06 / 29,89
120	72,78 / 53,25	2,82 / 5,15	3,13 / 10,74	20,24 / 30,58
600	75,95 / 65,22	2,98 / 4,64	3,81 / 5,47	16,31 / 24,43
3000	79,57 / 61,14	1,31 / 4,46	2,58 / 7,34	15,74 / 26,72
15000	48,86 / 51,10	5,90 / 5,29	12,31 / 12,05	32,58 / 31,36

* Приведены значения содержаний элементов для лицевой и обратной сторон металлических пластин соответственно.

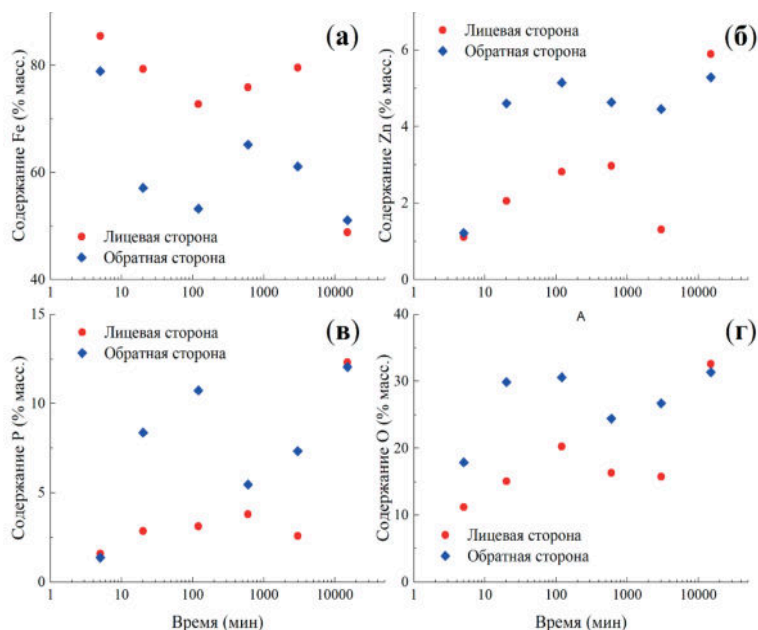


Рисунок 2. Изменение элементного состава поверхности покрытия в процессе выдержки после нанесения при комнатной температуре в логарифмических координатах: (а) Fe; (б) Zn; (в) P; (г) O.

В первые часы выдержки динамика изменения элементного состава двух сторон образцов имела различный характер (таблица 1, рисунок 2). На обратной стороне уже через 20–120 мин наблюдалось более выраженное снижение содержания Fe, сопровождаемое увеличением содержания Zn, P и O, тогда как на лицевой стороне эти изменения протекали значительно слабее.

При дальнейшем выдерживании изменения элементного состава носили немонотонный характер. После первоначального накопления Zn-, P- и O-содержащих компонентов в интервале 600–3000 мин наблюдалось частичное увеличение относительного содержания Fe и снижение содержания некоторых компонентов покрытия.

Для уточнения характера превращений, протекающих в поверхностном слое после нанесения композиции, исследовали изменение количества растворимых кислых компонентов покрытия по pH водных смывов и одновременно оценивали развитие его защитных свойств методом Акимова. Результаты исследования динамики изменения величины pH смывов и защитных свойств покрытий представлены на рисунках 3 и 4.

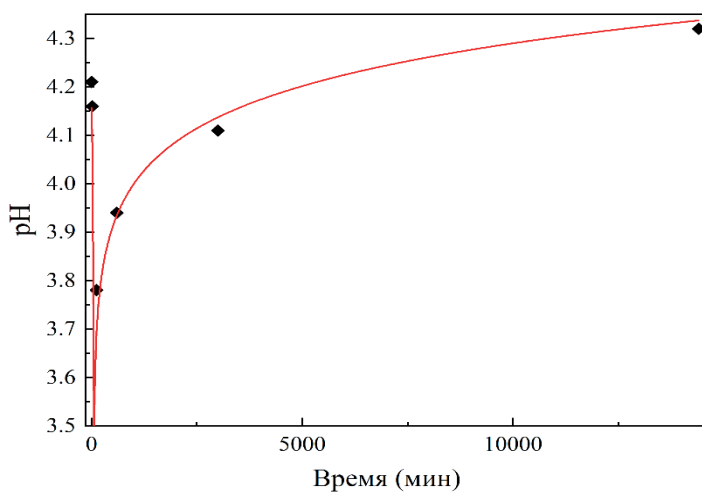


Рисунок 3. Влияние продолжительности выдерживания покрытий на pH смывов с образцов.

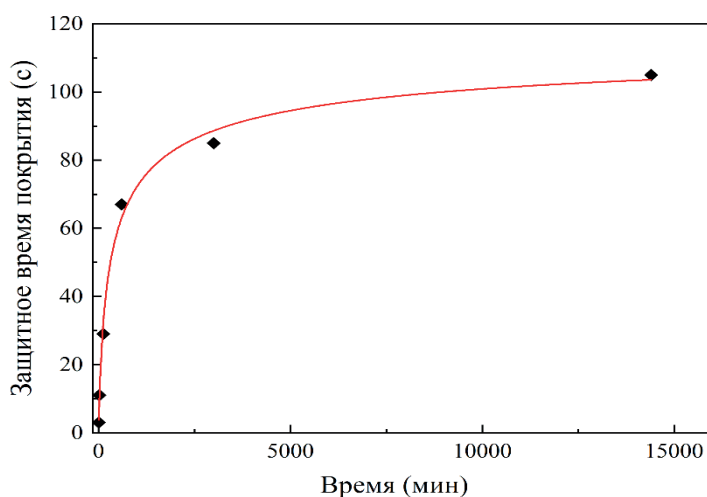


Рисунок 4. Влияние продолжительности выдерживания покрытий на стойкость покрытий по Акимову.

Зависимость pH от продолжительности выдержки имела немонотонный характер (Рисунок 3). В течение первых 2 ч значение pH смывов снижалось с 4,21 до минимального значения 3,78, после чего постепенно возросло и после 250 ч достигало 4,32.

В отличие от немонотонного изменения pH смывов, стойкость покрытия по методу Акимова возрастала в течение всего исследованного интервала времени (Рисунок 4). Максимальное значение 105 с было получено после выдержки в течение 250 ч.

Для уточнения химической природы соединений, присутствующих в

формирующемся покрытии и способных переходить в водную фазу, было проведено исследование твердого осадка, выделенный из совокупного водного смыва. ИК-спектр осадка представлен на Рисунке 5.

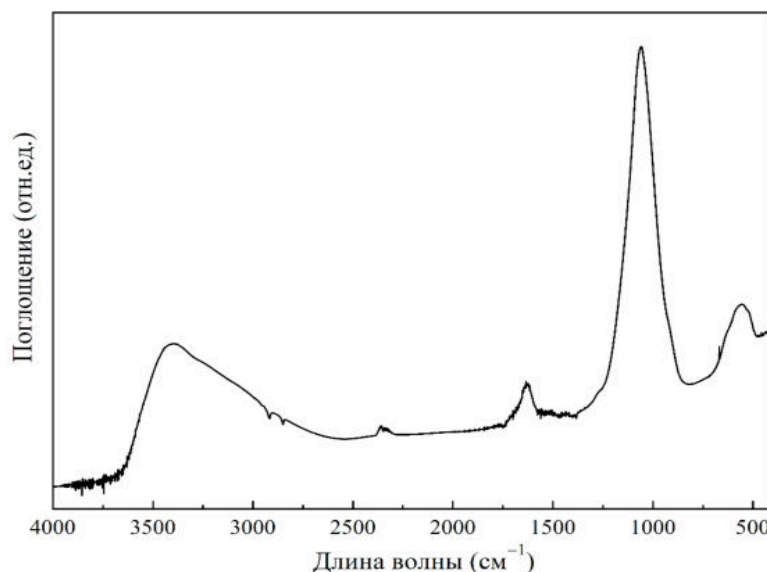


Рисунок 5. ИК-спектр твердого осадка, выделенного из водных смывов с фосфатированного образца стали Ст20.

В ИК-спектре осадка наблюдается широкая полоса поглощения в области около 3400 см^{-1} и полоса при 1640 см^{-1} , соответствующие валентным и деформационным колебаниям молекул воды. Наиболее интенсивный сложный контур расположен в области $1000\text{--}1150\text{ см}^{-1}$ и обусловлен преимущественно колебаниями фосфатных групп. Полоса около $940\text{--}950\text{ см}^{-1}$ может быть отнесена к колебаниям связей P–O, тогда как полосы в области $570\text{--}640\text{ см}^{-1}$ соответствуют деформационным колебаниям PO_4^{3-} (Pawlig et al., 2001; Scholz et al., 2013).

В целях оценки изменения количества и термической устойчивости слабосвязанных компонентов покрытия образцы после различной продолжительности выдержки исследовали методом температурно-программированной десорбции. Для исследования методом ТПД использовали стальную стружку, фосфатированную и выдержанную в течение различных периодов времени.

Результаты исследования образцов покрытий методом ТПД представлены на Рисунке 6.

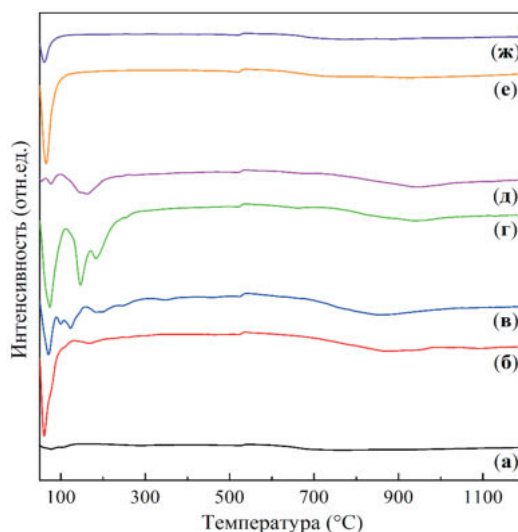


Рисунок 6. Профили ТПД исходной стали (а) и фосфатных покрытий на стали (б-ж) после выдержки в течение: б – 30 мин; в – 25 ч; г – 250 ч; д – 250 ч с последующей термообработкой при 250 °С; е – 250 ч с отмывкой после выдержки; ж – 500 ч с отмывкой после выдержки.

Профиль исходной стали характеризуется отсутствием выраженных десорбционных эффектов в исследованном температурном интервале, тогда как после нанесения фосфатирующей композиции появляются интенсивные низкотемпературные и более широкие высокотемпературные сигналы (Рисунок 6). Таким образом, наблюдаемые эффекты связаны преимущественно с компонентами сформированного поверхностного слоя.

Наиболее заметные изменения происходят в низкотемпературной области до приблизительно 200–250 °С. Уже после 30 мин выдержки наблюдается интенсивный сигнал при температурах ниже 100 °С. При увеличении продолжительности выдержки форма низкотемпературного участка усложняется и появляются дополнительные эффекты в области приблизительно 100–200 °С. Предварительная термообработка покрытия при 250 °С приводит к резкому уменьшению низкотемпературных эффектов.

Отмывка покрытия также существенно изменяет форму профиля ТПД. После отмывки образца, выдержанного в течение 250 ч, сохраняется интенсивный узкий низкотемпературный эффект, тогда как более протяженные сигналы в области средних температур становятся менее выраженными. Сохраняющийся низкотемпературный сигнал может быть связан в том числе с водой, вновь сорбированной покрытием при контакте с водной средой. После более длительной выдержки в течение 500 ч и последующей отмывки профиль становится значительно более ровным. Наряду с низкотемпературными сигналами для ряда образцов наблюдается широкое изменение сигнала в области приблизительно 700–950 °С.

Особенностью исследуемого способа фосфатирования является то, что

после кратковременного контакта металлической поверхности с рабочим раствором основная часть изопропилового спирта сравнительно быстро удаляется вследствие испарения, тогда как менее летучие компоненты остаются на поверхности. При создании состава было отмечено его достаточно равномерное распределение по металлической поверхности и слабое стекание при нанесении. Поэтому в рассматриваемых условиях образование покрытия не следует связывать исключительно с периодом непосредственного контакта стали с исходным раствором после удаления основной части растворителя на поверхности сохраняется реакционноспособный слой, дальнейшее состояние которого определяется последующей выдержкой на воздухе. Это хорошо согласуется с обнаруженной зависимостью элементного состава поверхности от продолжительности выдержки.

Наиболее существенные различия между двумя сторонами образцов наблюдались в первые часы после нанесения. Более быстрое снижение содержания Fe и накопление Zn, P и O на обратной стороне, вероятно, связано с неодинаковым количеством удержавшейся жидкой фазы и различиями условий ее испарения на поверхностях пластины. Дальнейшее изменение элементного состава имеет выражено немонотонный характер, что не позволяет описывать процесс как простое последовательное увеличение количества фосфатного материала. Напротив, полученные результаты указывают на перераспределение и превращение первоначально сформировавшихся поверхностных соединений. Характерно, что после длительной выдержки различия между противоположными сторонами существенно уменьшаются, а их элементный состав становится близким. Это позволяет рассматривать выдержку как стадию стабилизации первоначально неоднородного поверхностного слоя.

Такое поведение в целом соответствует современным представлениям о многостадийном характере образования покрытий данного типа. Формирование фосфатного слоя на железосодержащей подложке включает растворение металла в кислой среде, изменение химических условий непосредственно у поверхности, образование промежуточных продуктов и последующее формирование менее растворимых фосфатных соединений (Jiang et al., 2020; Alinezhadfar et al., 2025). В исследуемой системе эти процессы дополнительно протекают после испарения значительной части жидкой фазы, поэтому их развитие растягивается во времени и проявляется в изменении состава поверхности уже после завершения стадии нанесения.

Дополнительную информацию о химической перестройке покрытия дает изменение pH водных смывов. Начальное снижение pH до минимального значения через приблизительно 2 ч свидетельствует об увеличении количества кислых водорастворимых компонентов, присутствующих в поверхностном слое на ранней стадии. Они могут включать остаточную фосфорную кислоту, кислые фосфатные формы и продукты взаимодействия кислой среды с железом. Последующее повышение pH смывов при увеличении продолжительности выдержки указывает на постепенное уменьшение количества таких компонентов

вследствие их превращения в менее растворимые соединения. Наличие минимума рН в том же временном диапазоне, в котором наиболее существенно изменяется элементный состав поверхности, подтверждает, что первые часы после нанесения соответствуют наиболее активной стадии химической перестройки покрытия.

Функциональным проявлением этих превращений является постепенное увеличение защитной способности покрытия. В отличие от немонотонной зависимости рН смывов и содержания отдельных элементов, защитное время по методу Акимова возрастает практически на всем исследованном интервале и достигает 105 с после 250 ч выдержки. Следовательно, изменение состояния поверхностного слоя сопровождается улучшением его барьерных свойств. Анализ результатов СЭМ–ЭДС, потенциометрии и испытаний по Акимову позволяет предположить, что созревание покрытия связано не столько с непрерывным увеличением количества осажденного вещества, сколько с превращением первоначально неоднородного и частично растворимого слоя в более устойчивую фосфатсодержащую структуру.

Результаты ИК-спектроскопии подтверждают фосфатную природу продуктов, способных переходить с поверхности в водную фазу. Наличие интенсивных полос фосфатных групп и полос, связанных с молекулами воды, характерно для гидратированных соединений Zn и Fe (Pawlig et al., 2001; Scholz et al., 2013). Поэтому твердую фазу, выделенную из водных смывов, можно рассматривать как совокупность гидратированных фосфатов. Выраженные полосы воды и отсутствие признаков наличия высокоупорядоченных фаз согласуются с присутствием в смываемой части покрытия сравнительно гидратированных и лабильных фосфатных форм. Таким образом, изменение рН смывов связано не только с удалением остаточной свободной кислоты, но и с постепенным изменением состояния фосфатсодержащих продуктов.

Данные ТПД также показывают, что изменения поверхностного слоя не ограничиваются простым испарением изопропилового спирта. Выраженные низкотемпературные эффекты могут быть связаны с удалением воды и других слабосвязанных компонентов, причем их существенное уменьшение после предварительного нагрева при 250 °С подтверждает сравнительно низкую термическую устойчивость соответствующей части поверхностного слоя. Наличие в ИК-спектре интенсивных полос воды дополнительно поддерживает такое отнесение.

После длительной выдержки и последующей отмытки профиль ТПД становится значительно более ровным, что согласуется с уменьшением содержания слабосвязанных компонентов в созревшем покрытии. Широкие изменения сигнала в области высоких температур, вероятно, связаны с более глубокими термическими превращениями устойчивой фосфорсодержащей составляющей слоя. Таким образом, результаты ТПД хорошо согласуются с рН-метрией и ИК-спектроскопией: по мере выдержки уменьшается доля сравнительно легко удаляемых и растворимых компонентов и возрастает вклад более стабильной части покрытия.

На основании совокупности полученных результатов процесс формирования покрытия можно условно представить в виде нескольких последовательных стадий. Сразу после нанесения происходит испарение основной части изопропилового спирта и концентрирование H_3PO_4 и Zn-содержащих компонентов на поверхности стали. Одновременно взаимодействие кислой среды с металлической подложкой приводит к частичному растворению железа и образованию первоначального фосфатного слоя. В первые часы выдержки этот слой остается химически неоднородным и содержит значительную долю кислых, гидратированных и растворимых промежуточных соединений. При дальнейшей выдержке происходит их перераспределение и постепенное превращение в менее растворимые фосфатные формы, что сопровождается повышением pH смывов, уменьшением количества неустойчивых фаз и увеличением защитной способности покрытия.

Таким образом, выдержка фосфатированного образца на воздухе является существенной частью формирования покрытия, в ходе которой первоначально неоднородный слой, содержащий растворимые и неустойчивые компоненты, постепенно переходит в более стабильное состояние, характеризующееся повышением защитной способности. Поэтому продолжительность выдержки после нанесения следует рассматривать как самостоятельный фактор холодного фосфатирования из раствора на основе изопропилового спирта.

Заключение. В работе исследовано формирование фосфатных покрытий на низкоуглеродистой стали Ст20 из спиртосодержащей композиции на основе H_3PO_4 , $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и изопропилового спирта. Показано, что применение такой системы позволяет формировать фосфатсодержащий поверхностный слой при комнатной температуре, причем процесс его образования продолжается в течение длительного времени после нанесения композиции. По данным СЭМ, элементный состав покрытия существенно изменяется в процессе последующей выдержки. На ранних стадиях наблюдаются значительные различия между противоположными сторонами образца и немонотонное изменение содержания Fe, Zn, P и O, тогда как после длительной выдержки их составы сближаются. Полученные результаты свидетельствуют о том, что созревание покрытия представляет собой не простое накопление фосфатного материала, а сопровождается его последующей химической и структурной перестройкой.

Величина pH водных смывов первоначально снижается и достигает минимального значения приблизительно через 2 ч, после чего постепенно возрастает. Одновременно стойкость покрытия по методу Акимова увеличивается с 3 с после 5 мин выдержки до 105 с после 250 ч. Эти изменения указывают на постепенное уменьшение содержания растворимых кислых компонентов и формирование более устойчивого защитного слоя. ИК-спектроскопия смываемой твердой фазы подтверждает образование гидратированных фосфатных соединений, содержащих Zn и Fe. Температурно-программированная десорбция дополнительно показала существенное изменение состояния слабосвязанных и термически лабильных компонентов покрытия в процессе

выдержки. В совокупности результаты элементного анализа, pH-метрии, ИК-спектроскопии, ТПД и коррозионных испытаний подтверждают стадийный характер формирования слоя: от первоначального гидратированного и химически неоднородного состояния к более стабильной, менее растворимой и обладающей более высокими защитными свойствами фосфатной структуре. Полученные данные показывают, что спиртсодержащая композиция за счет хорошего смачивания, обезжиривания и быстрого высыхания позволяет равномерно нанести на поверхность металла фосфорную кислоту и ацетат цинка, которые при последующей выдержке на воздухе образуют нерастворимую пленку из фосфатов цинка и железа. При этом выдержка покрытия после нанесения должна рассматриваться как самостоятельная и существенная стадия технологии холодного фосфатирования, а ее длительность должна составлять не менее 1–2 суток при умеренных температурах.

References

- Alinezhadfar M., Schmutz P., Furcas F.E., Reuteler J., Crockett R., Angst U. (2025). Mechanism of zinc phosphate conversion coating formation on iron-based substrates. *Corrosion Science*. – Vol. 248. – P. 112796. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2025.112796> (in Eng.).
- Bold A., Fogel L.A., Statsyuk V.N., Sasykova L.R., Sultanbek U., Ait S., Tilebergen Zh.Zh., Vagramyan T.A., Abrashov A.A. (2020). Using of rust converters for deposition of anti-corrosion coatings. *Materials Today: Proceedings*. – Vol. 31. – No. 3. – P. 502-505. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.796> (in Eng.).
- Burduhos-Nergis D.P., Sandu A.V., Burduhos-Nergis D.D., Vizureanu P., Bejinariu C. (2023). Phosphate conversion coating – A short review. *Archives of Metallurgy and Materials*. – Vol. 68. – P. 1029-1034. <https://doi.org/10.24425/amm.2023.145471> (in Eng.).
- Frost R.L. (2004). An infrared and Raman spectroscopic study of natural zinc phosphates. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. – Vol. 60. – P. 1439-1445. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2003.08.009> (in Eng.).
- Herbáth B., Kovács K., Jakab M., Makó É. (2023). Crystal structure and properties of zinc phosphate layers on aluminum and steel alloy surfaces. *Crystals*. – Vol. 13. – No. 3. – P. 369. <https://doi.org/10.3390/cryst13030369> (in Eng.).
- Jiang C., Gao Z., Pan H., Cheng X. (2020). The initiation and formation of a double-layer phosphate conversion coating on steel. *Electrochemistry Communications*. – Vol. 114. – P. 106676. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2020.106676> (in Eng.).
- Konovalova V.S., Rumyantseva V.E. (2023). Obtaining red phosphate coatings on steel at room temperature. *Engineering Proceedings*. – Vol. 56. – P. 54. <https://doi.org/10.3390/ASEC2023-15378> (in Eng.).
- Liu J., Zhang B., Qi W.H., Deng Y.G., Misra R.D.K. (2020). Corrosion response of zinc phosphate conversion coating on steel fibers for concrete applications. *Journal of Materials Research and Technology*. – Vol. 9. – P. 5912-5921. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.03.117> (in Eng.).
- Narayanan T.S.N.S. (2005). Surface pretreatment by phosphate conversion coatings – A review. *Reviews on Advanced Materials Science*. – Vol. 9. – P. 130-177. (in Eng.).
- Pawlig O., Schellenschläger V., Lutz H.D., Trettin R. (2001). Vibrational analysis of iron and zinc phosphate conversion coating constituents. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. – Vol. 57. – P. 581-590. [https://doi.org/10.1016/S1386-1425\(00\)00410-8](https://doi.org/10.1016/S1386-1425(00)00410-8) (in Eng.).
- Ravichandran K., Narayanan T.S.N.S. (2001). Studies on acceleration of the low temperature zinc phosphating processes. *Transactions of the IMF*. – Vol. 79. – P. 143-145. <https://doi.org/10.1080/00202967.2001.11871383> (in Eng.).
- Rumyantseva V., Konovalova V., Narmaniya B. (2021). Modified phosphate coatings applied to steel

by cold method. Journal of Physics: Conference Series. – Vol. 2131. – No. 4. – P. 042027. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/4/042027> (in Eng.).

Sass A., Puzikova D., Zhurinov M., Torlopov I., Rakhmetova K., Zhumadullaev D., Khussurova G., Leontyeva X., Kenzin N., Nefedov A. (2026). The influence of organic modifiers on the formation and anticorrosion properties of phosphate coatings on steel. Coatings. – Vol. 16. – No. 7. – P. 816. <https://doi.org/10.3390/coatings16070816> (in Eng.).

Sass A.S., Torlopov I.I., Rakhmetova K.S., Zhumadullaev D.A., Zhurinov M. (2025). Influence of metal surface mechanical preparation on the properties of phosphate coatings. Academic Journal of Physical and Chemical Sciences. – Vol. 3. – No. 355. – P. 274-288. <https://doi.org/10.32014/2025.2518-1483.379> (in Eng.).

Scholz R., Frost R.L., Xi Y., Graça L.M., Lagoeiro L., López A. (2013). Vibrational spectroscopic characterization of the phosphate mineral phosphophyllite – $\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, from Hagendorf Süd, Germany and in comparison with other zinc phosphates. Journal of Molecular Structure. – Vol. 1039. – P. 22-27. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2013.01.075> (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*