

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

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№4
2025**

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

2025 • 4



**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 NAS RK, Acting President of RPA NAS RK, General Director of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky" (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

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>

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Director of the International Science and Production Holding "Phytochemistry" (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

RAMAZANOV Tlekkabul 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>

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>

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

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>

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>

BERSIMBAYEV Rakhmetkazi 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>

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

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>

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

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>

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>

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>

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>

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>

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Branch of NRNU MEPhI Kazakh National University named after Al-Farabi (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

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

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>

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:

ЖУРЫНОВ Мұрат Жұрынулы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА РҚБ президенті м.а., АҚ «Д.В. Сокольский атындағы Отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

Редакция ұжымы:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нүрәліұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» халықаралық ғылыми-өндірістік холдингінің директоры (Қарағанды, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

РАМАЗАНОВ Тілекқабұл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>

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

ОЛИВЬЕРО Россин Сезаре, PhD (химия), Калабрия университетінің профессоры (Калабрия, Италия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>

ТИГИНЯНУ 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>

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

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>

КАЛАНДРА Пьетро, PhD (физика), нанокүрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>

БОШКАЕВ Қуанғай Ағвазыұлы, 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>

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

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

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>

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>

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, 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>

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

ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, ҰЯЗУ МИФИ әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

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

ӘБІЛМАҒЖАНОВ Арпан 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>

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** Күзлік.

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 НАН РК, и.о. президента РОО НАН РК, Генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (Алматы, Казахстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

Редакционная коллегия:

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

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

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>

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>

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

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>

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), (Дэчон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендерович, 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>

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

БОШКАЕВ Куантай Авгазиевич, 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>

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

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

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>

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>

ТАКИБАЕВ Нургали Жабагаевич, 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>

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

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, кандидат физико-математических наук, доцент, Филиал НИЯУ МИФИ Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

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

АБИЛЬМАГЖАНОВ 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>

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», 2025

CONTENTS

PHYSICS

U.A. Ualikhanova, Y.Y. Kurban, A.M. Syzdykova, A.B. Altaibayeva, G.S. Altayeva
Dynamical systems analysis of the Starobinsky cosmological model.....11

M.B. Zhassybayeva, Z. Myrzakulova, M. Abeuova
Darboux transformation for the two-layer M-LXXII equation.....24

G.K. Beketova, N.N. Zhanturina, Z.K. Aimaganbetova
Cs₂AgBiBr₆ double halide perovskites as advanced materials for high-efficiency solar cells.....38

L.I. Shestakova, R.R. Spassyyuk
Spectral studies of the k-f corona interface at 5000–6000 Å.....52

A.Khazhidinova, A. Khazhidinov
On the issue of fuel consumption of a thermal power plant.....66

T.B. Koshtybayev, K.K. Zhantleuov, M.E. Aliyeva
Greens function in the theory of quantum fluids.....77

A.V. Serebryanskiy, Ch.B. Akniyazov, Ch.T. Omarov, S. Sittykova, D. Kadyrova
Analysis of lunar impact flashes statistics.....91

G.T. Omarova, Zh.T. Omarova
The Lagrange - Jacobi equation and its application to the N - body problem.....105

Zh. Muratkhan, M. Khassanov
Methods for estimation of stellar wind parameters in high-mass X-ray binary systems with neutron stars.....113

V. Mukamedenkyzy, A. Izbasar, A. Aqikat
Investigation of structured flows induced by concentration-driven convection in ternary gases systems.....127

K. Saurova, S. Nysanbaeva, G. Turlybekova
Modeling of the optical system of a star tracker for accurate spacecraft attitude determination.....140

CHEMISTRY

- B.S. Serikbayeva, M.S. Satayev, N.K. Sarypbekova**
Study of the electroplating process on polypropylene using a conductive layer.....157
- A.P. Auyeshov, Ch.Z. Yeskibayeva, A.K. Dikanbayeva**
Resource-efficient utilization of serpentinite waste for magnesium sulfate production.....172
- A.K. Kozybaev, Zh.D. Alimkulova, S.O. Abilkasova**
Kinetic and thermodynamic studies of heavy metal adsorption onto water-washed Ca-montmorillonite clay.....184
- A.Abdрахmanova, V. Krivchenko, A. Sabitova1, B. Kuderina**
DOL-enhanced electrolytes as a route to stable anodes in Li–V₂O₅ systems.....196
- B.K. Massalimova, A.S. Shayakhmetova, A.S.Darmenbayeva**
Water resources of Northern Kazakhstan: environmental monitoring and sustainable anagement.....208
- A. Rakhimov, N. Zhanikulov, B. Taimasov, E. Potapova, A.K. Sviderskiy**
Investigation of lead slag processing waste as raw material for cement industry.....227
- L.M. Kalimoldina, K.Zh. Zhalgasbayev, A.S. Dauletbayev**
Comparative study of industrial wastewater treatment methods.....241
- A. Nurlan, S.R. Konuspayev, T.S. Abildin, K. Toshtay**
Transformations of hydrocarbons during the hydrogenation of gasoline containing benzene.....256
- G.J. Baisalova, B.K. Yertay, A.A. Taltenov, P. Kuzhatova, G. Saspugayeva**
A quantitative determination of the phenol compounds sum in the thallus of *Parmelia sulcata*.....274
- B.E. Myrzabekov, A.B. Makhanbetov, T.E. Gaipov, B.S. Abzhalov, N.N. Nurgaliyev**
Electrochemical reduction of manganese (II) ions on titanium and lead electrodes.....286
- A.S. Darmenbayeva, G.M. Zhussipnazarova, R. Reshmy, Zh.B. Mukazhanova, V.A. Rube**
Biocoatings based on flax stem cellulose and their properties.....298

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

У.А. Уалиханова, Е.Е. Құрбан, А.М. Сыздыкова, А.Б. Алтайбаева, Г.С. Алтаева Старобинскийдің космологиялық моделін динамикалық жүйелер арқылы талдау.....	11
М.Б. Жасыбаева, Ж. Мырзақұлова, М. Абеуова Қос қабатты М-LXXII теңдеуі үшін дарбу түрлендіруі.....	24
Г.К. Бекетова, Н.Н. Жантурина, З.К. Аймағанбетова Cs ₂ AgBiBr ₆ қос галоидты перовскиттер: күн батареяларына арналған тиімділігі жоғары жаңа озық материалдары.....	38
Л.И. Шестакова, Р.Р. Спасюк 5000–6000 Å диапазонында k- және f-короналар арасындағы өтпелі аймақты спектрлік зерттеу.....	52
А. Хажидинова, А. Хажидинов Жылу электр станциясының отын тұтыну мәселесі.....	66
Т.Б. Қоштыбаев, К.Қ. Жантлеуов, М.Е. Алиева Кванттық сұйықтар теориясындағы Грин функциялары.....	77
А.В. Серебрянский, Ч.Б. Акниязов, Ч.Т. Омаров, С. Ситтыкова, Д. Кадырова Айдың беткі қабатына метеоридтардың соқтығысуын статистикалық тұрғыдазерттеу.....	91
Г.Т. Омарова, Ж.Т. Омарова Лагранж – Якоби тундеуі және оны N -денелі есепке қолдану.....	105
Ж. Мұратхан, М. Хасанов Нейтрон жұлдыздары бар массивті рентгендік екілік жүйелердегі жұлдыздық жел параметрлерін бағалау әдістері.....	113
В. Мукамеденқызы, А. Избасар, А. Ақиқат Үшкомпонентті газ жүйелеріндегі концентрациялық конвекцияның әсерінен құрылымдық ағындардың пайда болуын зерттеу.....	127
К. Саурова, С. Нысанбаева, Г. Турлыбекова Ғарыш аппараттарының ориентациясын нақты анықтау үшін жұлдыз сенсорының оптикалық жүйесін модельдеу.....	140

ХИМИЯ

Б.С. Серикбаева, М.С. Сагаев, Н.К. Сарыпбекова

Электрөткізгіш қабатты қолданып, полипропиленге гальваникалық қаптама алу процесін зерттеу.....157

А.П. Ауешов, Ч.З. Ескибаева, А.К. Диканбаева

Серпентинит қалдығынан магний сульфатын алудың техникалық-экономикалық зерттеуі.....172

А.К. Қозыбаев, Ж.Д. Әлімқұлова, С.О. Әбілқасова

Сумен жуылған са-монтмориллонит сазында ауыр металдардың сорбциясының кинетикасы мен термодинамикасы.....184

А. Абдрахманова, В. Кривченко, А. Сабитова, Б. КудеринаLi–V₂O₅ жүйесіндегі тұрақты анодтарға қол жеткізуге арналған DOL-мен модификацияланған электролиттер.....196**Б.К. Масалимова, А.С. Шаяхметова, А.С. Дарменбаева**

Солтүстік Қазақстанның су ресурстары: экологиялық мониторинг және ұтымды басқару.....208

А. Рахимов, Н. Жаникулов, Б. Таймасов, Е. Потапова, А.К. Свидерский

Цемент өнеркәсібі үшін шикізат ретінде қорғасын қожын өңдеу қалдықтарын зерттеу.....227

Л.М. Калимолдина, Қ.Ж. Жалғасбаев, А.С. Даулетбаев

Өнеркәсіптік сарқынды суларды тазартудың әдістерін салыстырмалы түрде зерттеу.....241

Ә. Нұрлан, С.Р. Конуспаев, Т.С. Абильдин, К. Тоштай

Құрамында бензол бар бензинді гидрлеу кезінде көмірсутектердің өзгеруі.....256

Г.Ж. Байсалова, Б.К. Ертай, А.А.Талтенов, П. Кужатова, Г.Е. Саспугаева*PARMELIA SULCATA* талломындағы фенолды қосылыстардың жиынтық мөлшерін сандық анықтау.....274**Б.Э. Мырзабеков, А.Б. Маханбетов, Т.Э. Гаипов, Б.С. Абжалов, Н.Н. Нұрғалиев**

Марганец (II) ионының титан және қорғасын электродында электрохимиялық тотықсыздануы.....286

А.С. Дарменбаева, Г.М. Жусипназарова, Р. Решми, Ж.Б. Мукажанова, В.А. Рубе

Зығыр сабағынан алынған целлюлоза негізіндегі биожабындар және олардың қасиеттері.....298



СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

У.А. Уалиханова, Е.Е. Курбан, А.М. Сыздыкова, А.Б. Алтайбаева, Г.С. Алтаева Анализ космологической модели старобинского с помощью динамических систем.....	11
М.Б. Жасыбаева, Ж. Мырзакулова, М. Абеуова Преобразование Дарбу для двухслойного уравнения M-LXXII.....	24
Г.К. Бекетова, Н.Н. Жантурина, З.К. Аймаганбетова Cs ₂ AgBiBr ₆ : двойные галоидные перовскиты как передовые материалы для высокоэффективных солнечных элементов	38
Л.И. Шестакова, Р.Р. Спасюк Спектральные исследования области перехода между К и F короной в диапазоне 5000–6000Å.....	52
А. Хажидинова, А. Хажидинов К вопросу о расходе топлива на тепловой электростанции.....	66
Т.Б. Коштыбаев, К.К. Жантлеуов, М.Е. Алиева Функции Грина в теории квантовых жидкостей	77
А.В. Серебрянский, Ч.Б. Акниязов, Ч.Т. Омаров, С. Ситтыкова, Д. Кадырова Исследование статистики ударов метеороидов о поверхность луны	91
Г.Т. Омарова, Ж.Т. Омарова Уравнение Лагранжа – Якоби и его применение к задаче N -тел.....	105
Ж. Муратхан, М. Хасанов Методы оценки параметров звездного ветра в массивных двойных рентгеновских системах с нейтронными звездами.....	113
В. Мукамеденкызы, А. Избасар, А. Акикат Исследование возникновения структурированных течений, обусловленных концентрационной конвекцией в трёхкомпонентных газовых системах.....	127
К. Саурова, С. Нысанбаева, Г. Турлыбекова Моделирование оптической системы звёздного датчика для точного определения ориентации космических аппаратов.....	140

ХИМИЯ

Б.С. Серикбаева, М.С. Сатаев, Н.К. Сарыпбекова

Исследование процесса гальванопокрытия на полипропилене с использованием электропроводного слоя.....157

А.П. Ауешов, Ч.З. Ескибаева, А.К. Диканбаева

Технико-экономическое исследование получения сульфата магния из серпентинитового отхода.....172

А.К. Козыбаев, Ж.Д. Алимкулова, С.О. Абилкасова

Кинетика и термодинамика сорбции тяжелых металлов на промытой водой кальциево-монтмориллонитовой глине.....184

А. Абдрахманова, В. Кривченко, А. Сабитова, Б. КудеринаDOL – модифицированные электролиты как путь к стабильным анодам в системах $Li-V_2O_5$196**Б.К. Масалимова, А.С. Шаяхметова, А.С. Дарменбаева**

Водные ресурсы Северного Казахстана: экологический мониторинг и устойчивое управление.....208

А. Рахимов, Н. Жаникулов, Б. Таймасов, Е. Потапова, А.К. Свидерский

Исследование отходов переработки свинцового шлака в качестве сырья для цементной промышленности.....227

Л.М. Калимолдина, К.Ж. Жалгасбаев, А.С. Дәулетбаев

Сравнительное исследование методов очистки промышленных сточных вод.....241

А. Нурлан, С.Р. Коңуспаев, Т.С. Абильдин, К. Тоштай

Превращения углеводов при гидрировании бензина, содержащего бензол.....256

Г.Ж. Байсалова, Б.К. Ертай, А.А.Талтенов, П. Кужатова, Г.Е. СаспугаеваКоличественное определение суммы фенольных соединений в талломе *PARMELIA SULCATA*.....274**Б.Э. Мырзабеков, А.Б. Маханбетов, Т.Э. Гайпов, Б.С. Абжалов, Н.Н. Нургалиев**

Электрохимическое восстановление ионов марганца (II) на титановом и свинцовом электродах.....286

А.С. Дарменбаева, Г.М. Жусипназарова, Р. Решми, Ж.Б. Мукажанова, В.А. Рубе

Биопокрытия на основе целлюлозы из стебля льна и их свойства.....298



ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES
ISSN 2224-5227
Volume 4.
Number 356 (2025), 127–139

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1483.389>

FTMP 30.17.35
ЭОЖ 533.15:536.25

©V. Mukamedenkyzy*, A. Izbasar, A. Aqikat, 2025.
Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.
Mukamedenkyzy.venera@gmail.com

INVESTIGATION OF STRUCTURED FLOWS INDUCED BY CONCENTRATION-DRIVEN CONVECTION IN TERNARY GASES SYSTEMS

Mukamedenkyzy Venera — Cand. Phys.-Math. Sci., Associate Professor of the Faculty of Physics and Technology, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: Mukamedenkyzy.venera@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-3921-2812>;

Izbasar Aysara — Master’s student in Technical Physics, Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: aisara.izbasar@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0009-4373-944X>;

Aqyqat Ayagoz — Master’s student in Technical Physics, Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: Ayakozakikat123@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0006-1835-014X>.

Abstract. Diffusion in multicomponent gases is characterized by a number of specific phenomena that are not observed in binary diffusion. An analysis of previous studies shows that in certain systems with significantly different diffusion coefficients, convective instability may arise under specific geometric and thermophysical conditions. Stability analysis makes it possible to identify parameter regions in which a transition from the diffusion regime to the convective regime can occur; however, this approach does not fully describe the mechanisms responsible for the formation of convective structures and their temporal evolution. In this regard, the present work employs numerical modeling methods to investigate the conditions for the onset of concentration-driven gravitational convection in ternary gas systems, the formation of convective flows and their evolution over time, as well as the influence of the initial mixture composition on the instability characteristics of the system. A mathematical model based on a classification scheme of physical parameters is proposed, allowing the processes occurring in the transition region between the “diffusion—concentration convection” regimes to be described. As a result of numerical calculations, concentration fields of the gas component with the highest molecular mass were obtained at various time instants. The analysis shows that the isoconcentration lines undergo significant deformation over time and acquire a

nonlinear character. This phenomenon is closely associated with the loss of mechanical equilibrium stability of the system and with differences in the mutual diffusion coefficients of the components. It is also established that the degree of distortion of the isoconcentration lines depends on the initial concentrations of the mixture components. The results demonstrate that, for certain mixture compositions, large-scale structured convective flows are formed, whereas in other cases a purely diffusive regime is preserved. The obtained data are in good agreement with experimental observations and contribute to a deeper understanding of the physical mechanisms of mass transfer in multicomponent gas mixtures.

Keywords: concentration, diffusion, density, mixtures, quasi-stationary mixing, numerical calculation

©В. Мукамеденкызы*, А. Избасар, А. Ақиқат, 2025.

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

Mukamedenkyzy.venera@gmail.com

ҮШКОМПОНЕНТТІ ГАЗ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ КОНЦЕНТРАЦИЯЛЫҚ КОНВЕКЦИЯНЫҢ ӘСЕРІНЕН ҚҰРЫЛЫМДЫҚ АҒЫНДАРДЫҢ ПАЙДА БОЛУЫН ЗЕРТТЕУ

Мукамеденкызы Венера — ф.-м.ғ.к., әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің физика-техникалық факультетінің доценті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: Mukamedenkyzy.venera@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3921-2812>;

Избасар Айсара — «Техникалық физика» мамандығы бойынша магистрант, Қазақ Ұлттық университеті, физика-тезникалық факультет, Алматы, Қазақстан,

E-mail: aisara.izbasar@mail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0009-4373-944X>;

Ақиқат Аяғөз — «Техникалық физика» мамандығы бойынша магистрант, Қазақ Ұлттық университеті, физика-тезникалық факультет, Алматы, Қазақстан,

E-mail: Ayakozakikat123@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0006-1835-014X>.

Аннотация. Көпкомпонентті газдардағы диффузия бинарлы диффузия кезінде байқалмайтын бірқатар ерекше құбылыстармен сипатталады. Зерттеулерге жасалған талдау көрсеткендей, диффузия коэффициенттері айтарлықтай айырмашылығы бар кейбір жүйелерде белгілі бір геометриялық және жылу физикалық параметрлер кезінде конвективтік орнықсыздық пайда болуы мүмкін. Орнықтылыққа жасалған талдау диффузиялық күйден конвективтік күйге өтуі мүмкін параметрлер аймақтарын анықтауға мүмкіндік береді, алайда бұл тәсіл конвективтік түзілімдердің пайда болу механизмі мен олардың уақыт бойынша дамуын толық сипаттай алмайды. Осыған байланысты жұмыс барысында үшкомпонентті газ жүйелеріндегі концентрациялық гравитациялық конвекцияның пайда болу шарттары, конвективтік ағындардың қалыптасуы мен олардың эволюциясы, сондай-ақ бастапқы қоспа құрамының жүйенің орнықсыздық сипаттарына әсері сандық модельдеу әдістері арқылы зерттеледі. Физикалық параметрлер бойынша жіктеу сызбасына негізделген математикалық модель ұсынылып, ол

«диффузия — концентрациялық конвекция» режимдерінің ауысу аймағында жүретін үрдістерді сипаттауға мүмкіндік береді. Сандық есептеулер нәтижесінде әртүрлі уақыт мезеттерінде молекулалық массасы ең үлкен газ компонентінің концентрация өрістері алынған. Алынған деректер изоконцентрациялық сызықтардың уақыт бойынша айтарлықтай деформацияланатынын және олардың бейсызық сипатқа ие болатынын көрсетеді. Бұл құбылыс жүйедегі механикалық тепе-теңдіктің орнықсыздығымен және компоненттердің өзара диффузия коэффициенттерінің айырмашылығымен тығыз байланысты. Сонымен қатар, изоконцентрациялық сызықтардың қисаю дәрежесінің қоспа компоненттерінің бастапқы концентрацияларына тәуелді екендігі анықталды. Жүргізілген зерттеу нәтижелері белгілі бір құрамдық қатынастарда ірі масштабты құрылымданған конвективтік ағындардың қалыптасатынын, ал кейбір жағдайларда жүйеде таза диффузиялық режимнің сақталатынын көрсетті. Алынған нәтижелер тәжірибелік бақылаулармен жақсы үйлесіп, көпкомпонентті газ қоспаларындағы масса алмасу үрдістерінің физикалық механизмдерін тереңірек түсінуге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: концентрация, диффузия, тығыздық, қоспа, квазистационарлық араластыру, сандық есептеу

©В. Мукамеденкызы*, А. Избасар, А. Акикат, 2025.

Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

Mukamedenkyzy.venera@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ТЕЧЕНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ КОНЦЕНТРАЦИОННОЙ КОНВЕКЦИЕЙ В ТРЁХКОМПОНЕНТНЫХ ГАЗОВЫХ СИСТЕМАХ

Мукамеденкызы Венера — к.ф.-м.н., доцент, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Физико-технический факультет, Алматы, Казахстан,

E-mail: Mukamedenkyzy.venera@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3921-2812>;

Избасар Айсара — магистрант по специальности «Техническая физика», Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Физико-технический факультет, Алматы, Казахстан,

E-mail: aisara.izbasar@mail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0009-4373-944X>;

Акикат Аягөз — магистрант по специальности «Техническая физика», Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Физико-технический факультет, Алматы, Казахстан,

E-mail: Ayakozakikat123@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0006-1835-014X>.

Аннотация. Диффузия в многокомпонентных газовых системах характеризуется рядом специфических явлений, отсутствующих при бинарной диффузии. Анализ исследований показывает, что в некоторых системах с существенно различающимися коэффициентами диффузии при определённых геометрических и теплофизических параметрах может возникать конвективная неустойчивость. Методы линейного анализа устойчивости позволяют определить области параметров, при которых возможен переход от диффузионного режима к конвективному, однако такой подход не даёт полного представления о механизме формирования конвективных структур и их временной эволюции. В связи

с этим в работе с использованием численного моделирования исследуются условия возникновения концентрационной гравитационной конвекции в трёхкомпонентных газовых системах, процесс формирования конвективных течений и их динамика во времени, а также влияние начального состава смеси на характеристики неустойчивости. Предложена математическая модель, основанная на классификационной схеме по физическим параметрам, позволяющая описывать процессы в области перехода между режимами «диффузия — концентрационная конвекция». В результате численных расчётов получены поля концентрации газового компонента с наибольшей молекулярной массой в различные моменты времени. Анализ показал, что изоконцентрационные линии со временем значительно деформируются и приобретают нелинейный характер. Это связано с потерей устойчивости механического равновесия системы и различиями коэффициентов взаимной диффузии компонентов. Установлено, что степень искривления изоконцентрационных линий зависит от начальных концентраций смеси. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при определённых соотношениях компонент формируются крупномасштабные структурированные конвективные течения, тогда как в других случаях система остаётся в чисто диффузионном режиме. Представленные данные хорошо согласуются с экспериментальными наблюдениями и расширяют понимание механизмов массопереноса в многокомпонентных газовых смесях.

Ключевые слова: концентрация, диффузия, плотность, смеси, квазистационарное смешение, численный расчёт

Кіріспе. Біртекті емес температуралық өрістегі гравитациялық конвекцияның пайда болуын зерттеу нәтижелері зерттелетін заттың қасиеттерімен байланысты жылу және массатасымалы үрдістерінің негізгі параметрлерін анықтау бойынша ұсынымдар әзірлеуге мүмкіндік берді. Бұл ұсынымдар нақты жағдайларда араласу режимдерін болжауға жол ашады.

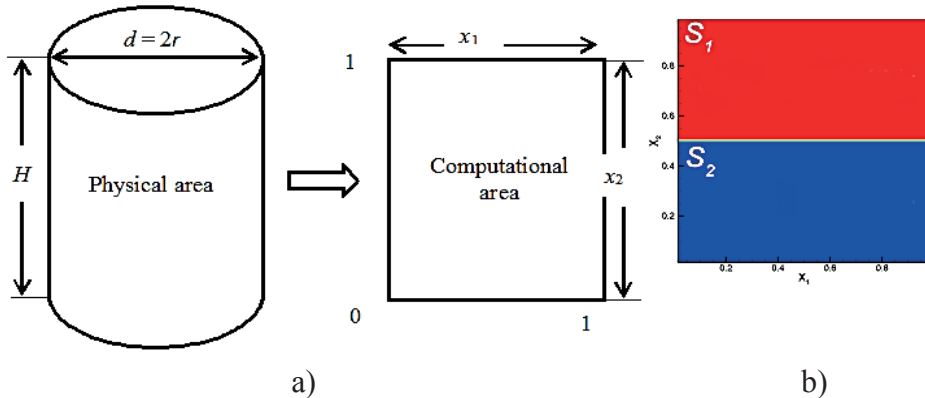
Сонымен қатар, механикалық тепе-теңдіктің орнықсыздығының пайда болуы және одан әрі конвективтік түзілімдердің дамуы тығыздық градиенттері мен ауырлық күшінің бағытына тәуелді (Kossov, 2025; Nield, 2006; Bejan, 2004). Тиісті градиенттердің бағыттары сәйкес келмеген жағдайда конвективтік ауытқулардың пайда болуы мен олардың әрі қарай дамуы байқалады. Ал керісінше жағдайда ортада тұрақты стратификация орнайды және конвективтік қозғалыс орын алмайды.

Конвективтік орнықсыздықтың пайда болуы мен гидродинамикалық ауытқулардың одан әрі дамуының физикалық интерпретациясы (Nield, 2006; Bejan, 2004) еңбектерінде сипатталған. Алайда, бастапқыда тұрақты стратификация жағдайында жүретін изотермдік көпкомпонентті араласуды сипаттау үшін Рэлейдің жылулық есебінің формализмін қолдану (Kossov, 2014; Косов, 2004) жұмыстарында көрсетілгендей, бірнеше парциалдық концентрация градиенттерінің әсерін ескеруді талап етеді. Мұндай түзетудің маңыздылығы (Kossov, 2017; Bird, 2002) еңбектерінде дәлелденген, онда әртүрлі молекулалық

массалар мен диффузия коэффициенттері бар үшкомпонентті жүйелерде конвективтік ұйытқулардың бәсеңдейтін және күшейетін аймақтарының бар екендігі анықталған. Бұл көпкомпонентті диффузия кезінде құрылымдық ағындардың пайда болуына себеп болуы мүмкін. (Косов, 2004; Kossov, 2017) еңбектерінде дамытылған тәсіл тек берілген жылуфизикалық және геометриялық параметрлер аймағында «диффузия — конвекция» режимдерінің ауысу шекарасын ғана анықтайды. Құрылымды конвективтік ағындардың пайда болу процесі мен олардың әрі қарайғы эволюциясы қарастырылмаған. Сондай-ақ, көпкомпонентті газ жүйелеріндегі диффузия және орнықсыздық процестері бірқатар жұмыстарда (Ruev, 2009; Levintal, 2019; Shen, 2011; Arekhov, 2023; Bogatyrev, 2013; Bogatyrev, 2014) кеңінен зерттелген.

Осыған байланысты изотермиялық көпкомпонентті араласу жағдайында «диффузия — конвекция» режимдерінің ауысу шекарасында құрылымдық түзілімдердің пайда болу динамикасын зерттеу өзекті мәселе болып табылады. Жұмыста бастапқы құрамдарға ие үшкомпонентті газ қоспаларының диффузиялық арналары арқылы араласуын зерттеуге арналған сандық зерттеу нәтижелері ұсынылған.

Материалдар мен әдістері. Жұмыста цилиндрлік арнада үшкомпонентті газ қоспасының диффузиялық тасымалы зерттеледі. Есептің қойылуы 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1 - Көпкомпонентті массаалмасу моделі: а) Араласу аймағы; б) Көпкомпонентті қоспалардың диффузиялық ұшықтарда орналасуы

Каналдың жоғарғы бөлігі S_1 молекулалық массалары M_1 және M_3 болатын газ қоспасынан тұрады, бұл қоспа арнаның төменгі бөлігінде орналасқан S_2 молекулалық массасы M_2 болатын газға диффундирленеді. Осы кезде келесі болжамдар қабылданады:

1. Компоненттердің молекулалық массалары үшін M_i мына шарт орындалады:

$$M_3 > M_2 > M_1.$$

2. Тәуелсіз диффузия шарты мына түрде қарастырылады:

$$\sum_{i=1}^3 j_i=0 \text{ және } \sum_{i=1}^3 c_i=1$$

«Диффузия — конвекция» режимдерінің ауысу шекарасына жақын аймақта үшкомпонентті газ қоспасының көпкомпонентті араласу процесін сипаттау үшін Буссинеск жуықтауы (Kossov, 2019) негізінде жазылған шамаларға арналған гидродинамикалық теңдеулер жүйесі қолданылады:

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \nabla) \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho_0} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u} + g (\beta_1 c_1 + \beta_2 c_2) \gamma, \quad (1)$$

$$\frac{\partial c_1}{\partial t} + \mathbf{v} \nabla \langle c_1 \rangle = D_{11}^* \nabla^2 c_1 + D_{12}^* \nabla^2 c_2,$$

$$\frac{\partial c_2}{\partial t} + \mathbf{v} \nabla \langle c_2 \rangle = D_{21}^* \nabla^2 c_1 + D_{22}^* \nabla^2 c_2,$$

$$\operatorname{div} \mathbf{v} = 0,$$

мұндағы $\langle c_i \rangle$ — санаудың бастауы ретінде алынған концентрацияның тұрақты орташа мәні, \hat{j} — бірлік вектор, ν — кинематикалық тұтқырлық коэффициенті, ρ_0 — қоспаның тығыздығының орташа мәні.

Қоспаның концентрацияға тығыздығы мына қатынаспен анықталады:

$$\beta_i = \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \rho}{\partial c_i} \right)_{p, T, c_j},$$

$$\rho = \rho_0 (1 - \beta_1 c_1' - \beta_2 c_2'),$$

Орташа массалық және орташа сандық жылдамдықтардың ауытқулары бірдей ретте болғандықтан, келесі қатынастардағы шамаларды ν орнына u қолдануға болады (Косов, 2004). Өлшеудің сипаттамалық масштабтарын былай таңдаймыз:

H — каналдың сызықтық өлшемі, H^2/ν — уақыт, D_{22}^*/H — жылдамдық,

$A_i H$ – концентрация, $\rho_0 \nu D_{22}^* / H^2$ – қысым.

(1) теңдеулер жүйесі өлшемсіз шамалар арқылы келесі түрге түрлендіріледі:

$$\begin{aligned} \frac{\partial c_1}{\partial t} + \frac{1}{Pr_{22}} \mathbf{u} \nabla c_1 &= \frac{1}{Pr_{11}} \Delta c_1 + \frac{1}{Pr_{22}} \tau_{12} \Delta c_2, \\ \frac{\partial c_2}{\partial t} + \frac{1}{Pr_{22}} \mathbf{v} \nabla c_2 &= \frac{A_1}{A_2} \frac{1}{Pr_{22}} \tau_{21} \Delta c_1 + \frac{1}{Pr_{22}} \Delta c_2, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \frac{1}{Pr_{22}} \nabla (\hat{\mathbf{u}} \cdot \mathbf{u}) = -\nabla p + \Delta \mathbf{u} + (Ra_1 \tau_{11} c_1 + Ra_2 c_2) ,$$

$$\operatorname{div} \mathbf{u} = 0,$$

мұндағы $Pr_{ii} = \nu / D_{ii}^*$ — Прандтльдің диффузиялық саны, $Ra_i = g \beta_i A_i H^4 / D_{22}^* \nu$ — Рэлейдің диффузиялық саны, мұндағы A_i — берілген өлшемсіз градиент.

Әрі қарай (Kossov, 2019) еңбекте ұсынылған алгоритмді қолданамыз. (2) теңдеулер жүйесін физикалық параметрлер бойынша жіктеу схемасы арқылы сандық жолмен шешеміз (Navon, 1987).

Цилиндрлік аймақтың қимасы декарттық координаттар жүйесінде екіөлшемді $H \times d$ облыс ретінде қарастырылады (1a-сурет). Есептеулер өлшемсіз торда, 128×128 өлшемдерінде жүргізілді.

Есептеудің бірінші кезеңінде қозғалыс мөлшерінің тасымалы тек конвекция мен диффузия есебінен жүзеге асады. Аралық жылдамдық өрісі Адамс—Бэшфорт және Кранк—Николсон схемалары бойынша анықталады (Kossov, 2019):

$$\frac{\hat{\mathbf{u}}^n - \mathbf{u}^n}{\Delta t} = -\frac{1}{2} (3H^n - H^{n-1}) + \frac{1}{2} \Delta (\hat{\mathbf{u}}^n + \mathbf{u}^n) + (Ra_1 \tau_{11} c_1 + Ra_2 c_2) , \quad (3)$$

мұндағы $H^n = -\nabla (\mathbf{u} \cdot \mathbf{u})^n$ — конвективті мүшелер, $\hat{\mathbf{u}}$ — аралық жылдамдық өрісі, Δt — уақыт бойынша қадам, n — t^n мезеттегі итерация нөмері.

Есептеудің екінші кезеңі қысымның жылдамдық мәнімен байланысын анықтайды:

$$\Delta p = \frac{\nabla \cdot \hat{\mathbf{u}}^n}{\Delta t}. \quad (4)$$

Үшінші кезең жылдамдық өрісін тек қысымның төмендеуіне байланысты қайта есептеуді қамтиды:

$$\frac{\mathbf{u}^{n+1} - \hat{\mathbf{u}}^n}{\Delta t} = -\nabla p. \quad (5)$$

Төртінші кезеңде концентрацияның компоненттері анықталады:

$$\begin{aligned} \frac{c_1^{n+1} - c_1^n}{\Delta t} &= \frac{1}{2} (F^{n+1} - F^n) + \frac{1}{Pr_{11}} \Delta c_1^n + \frac{1}{Pr_{12}} \Delta c_2^n, \\ \frac{c_2^{n+1} - c_2^n}{\Delta t} &= \frac{1}{2} (F^{n+1} - F^n) + \frac{1}{Pr_{21}} \Delta c_1^n + \frac{1}{Pr_{22}} \Delta c_2^n, \\ c_3^{n+1} &= 1 - c_1^{n+1} - c_2^{n+1}, \end{aligned} \quad (6)$$

мұндағы $F^n = -\nabla(\mathbf{u}^{n+1} \cdot \mathbf{c}^n)$ - конвективті мүшелері.

Ал, шекаралық шарттар мына түрде көрсетіледі:

$$\mathbf{u}(\mathbf{x}_B, \tau) = 0, \quad \frac{\partial c_i}{\partial n} = 0, \quad i = 1-3 \quad (7)$$

мұндағы $n = (n_1, n_2)$ - есептеу аймағының шекарасындағы сыртқы нормаль. Бастапқы шарттар осы түрде көрсетіледі:

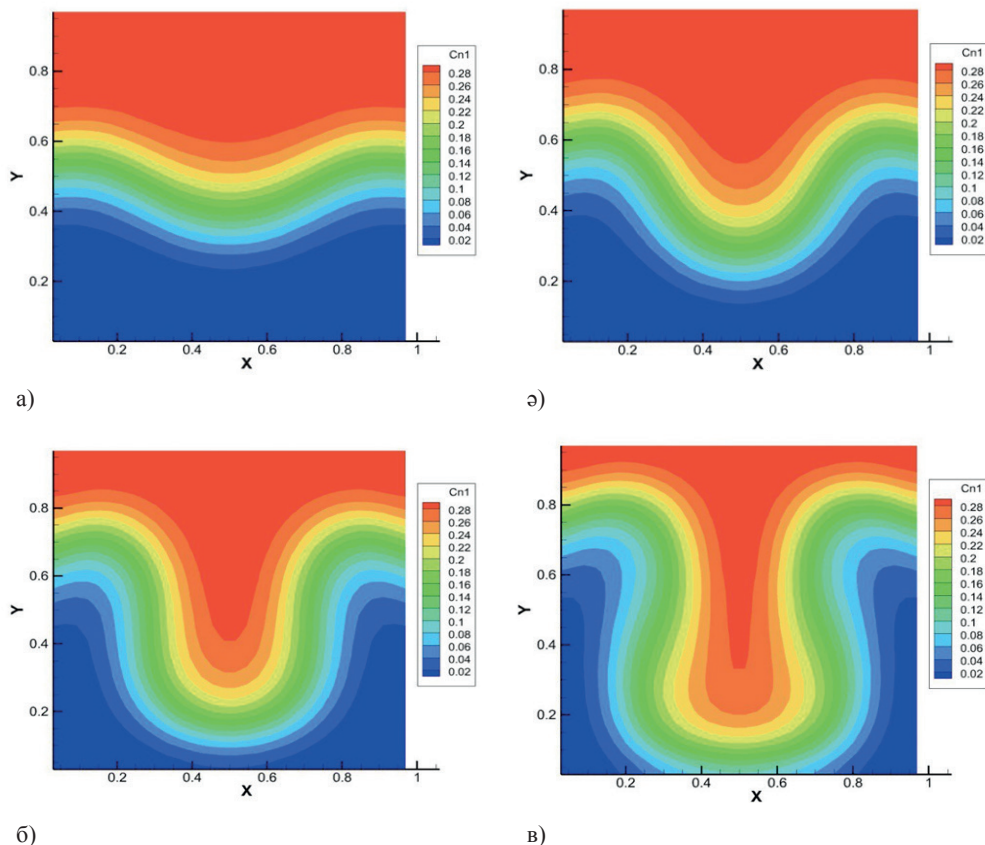
$$\begin{aligned} \mathbf{u}(\mathbf{x}, \tau) &= 0, \\ c_1(\mathbf{x}, \tau = 0)|_{\mathbf{x} \in S_1} &= X_1, \quad c_1(\mathbf{x}, \tau = 0)|_{\mathbf{x} \in S_2} = 0, \\ c_2(\mathbf{x}, \tau = 0)|_{\mathbf{x} \in S_1} &= X_2, \quad c_2(\mathbf{x}, \tau = 0)|_{\mathbf{x} \in S_2} = 0, \\ c_3(\mathbf{x}, \tau = 0)|_{\mathbf{x} \in S_1} &= 0, \quad c_3(\mathbf{x}, \tau = 0)|_{\mathbf{x} \in S_2} = X_3. \end{aligned} \quad (8)$$

мұндағы X_i - жоғарғы компоненттердің концентрациясы S_1 және төменгі S_2 аймақтағы концентрация.

Нәтижелер мен талқылау. Зерттеу жұмысы $0,3CH_4 + 0,7Ar - N_2$ газ қоспасы үшін жүзеге асырылды. Есептеулер қысым $p = 1 \text{ атм}$, ал температура $T = 295,0 \text{ K}$ жағдайлары кезінде, ал уақыт бойынша есептік қадамы $0,005$ деп алынып, уақыт бойынша өзгерісі: а) $t = 1,22 \text{ c}$; ә) $t = 1,63 \text{ c}$; б) $t = 1,83 \text{ c}$; в) $t = 2,24 \text{ c}$ -қа тең. Каналдың ұзындығы мен радиусы $L = 165 \cdot 10^{-2} \text{ m}$, $r = 10^{-2} \text{ m}$ мәндеріне тең болды. Берілген жүйе үшін қоспаның механикалық тепе-теңдігінің тұрақтылығын жоғалту уақыты шамамен бірнеше секундты құрайды. Осыдан кейін конвективтік ағындардың жылдам дамуы байқалады. Конвективтік ағындар ірі масштабты

құрылымдар түрінде жүзеге асады. Конвекция құрылымдарының пайда болу процесі периодтық сипатқа ие болуы мүмкін, ал мұндай араласу түрінде басым тасымалдаушы ретінде молекулалық массасы ең үлкен компонент әрекет етеді.

Сандық модельдеу нәтижелерін талдау барысында изоконцентрациялық сызықтардың уақыт өте келе айтарлықтай және жылдам деформацияланып, өзгеретіндігі, соның салдарынан күрделі құрылымдық ағын аймағы қалыптасатыны анықталды. Массалмасу үрдісіндегі көпқұрылымды динамиканың бар екендігі 2 суретте келтірілген нәтижелер арқылы да расталды.



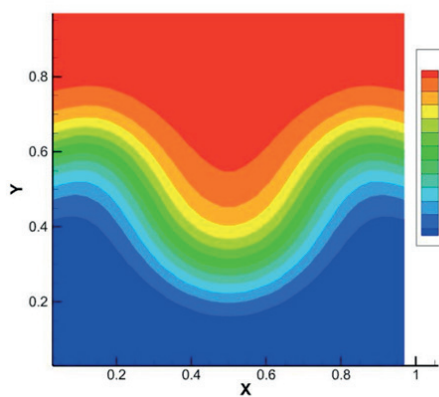
Сурет 2 - Изоконцентрациялық өрістердің уақыт бойынша өзгеруі:

а) бастапқы кезеңдегі концентрация таралуы; ә) бастапқы ұйытқулардың пайда болуы; б) концентрациялық конвекцияның айқын дамуы және құрылымданған ағыс түзілуі; в) толық қалыптасқан көпқұрылымды конвективті құрылымдар.

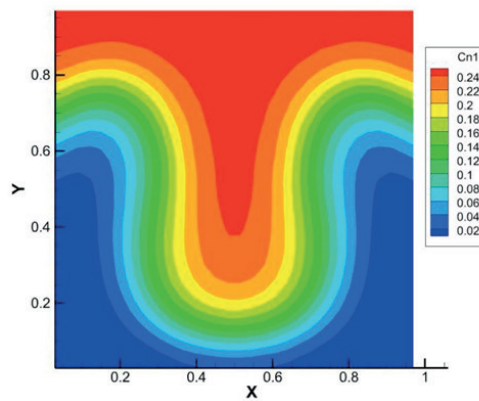
Келесі кезекте, дәл осы жүйе қарастырылып, бірақ концентрация мәні өзгертілді. Қысым $p=1\text{атм}$, температура $T=295,0\text{ К}$, уақыт бойынша қадамы $0,005$ деп алынды. Есептеулер $0,25\text{CH}_4 + 0,75\text{Ar} - \text{N}_2$ жүйесі үшін жүргізілді.

Демек, зерттеліп отырған барлық жүйелерде диффузиялық орнықсыздықтың

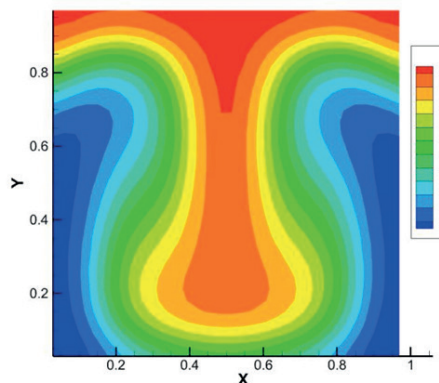
байқалатыны анықталды. Диффузиялық режимнен конвективті режимге ауысудың негізгі көрсеткіштерінің бірі өзара диффузия коэффициенттерінің едәуір айырмашылығына байланысты изоконцентрациялық сызықтардың бейсызық түрге енуі болып табылады. Сонымен қатар, қысымның жоғарылауымен изоконцентрациялық аймақта конвективті құрылымдардың түзіле бастайтыны байқалады. Берілген нәтижелер қоспаның араласу кезеңдерін сипаттап, изоконцентрациялық сызықтардың қисаюуы уақыт өткен сайын айтарлықтай жылдам өсіп, нәтижесінде күрделі құрылымдармен сипатталатын ағындардың пайда болуына әкелетіні көрсетеді. Ағын түзілуі барысында оның шекарасы аумағында диффузиялық таралу айқын әрі нақты байқалады. Метан, азот және аргон компоненттерінің өзара әрекеттесуі нәтижесінде концентрацияның төмендейтіні де көрінеді.



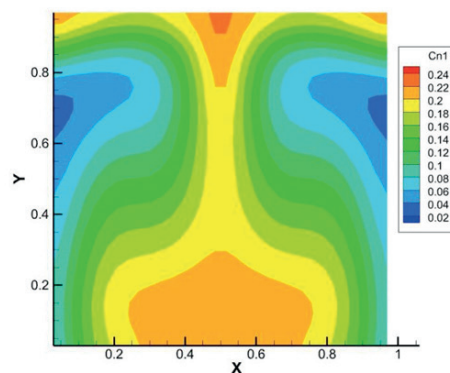
а)



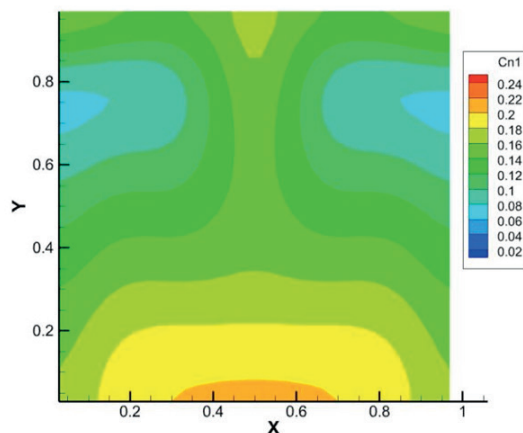
ә)



б)



в)



г)

Сурет 3 - $p=1$ атм, $T=295,0$ К, $L = 165 \times 10^{-2}$ м, $r = 10^{-2}$ м мәндері үшін жүйесіндегі метан изоконцентрациялық сызығының динамикасы

Қорытынды. Ұсынылған математикалық модель үшкомпонентті газ қоспасының әртүрлі құрамдық мәндері үшін конвективтік құрылымның түзілу процесін сипаттауға мүмкіндік береді. Конвективтік орнықсыздықтың пайда болуы диффузия кезінде байқалмайтын изоконцентрациялық таралулардың айтарлықтай қисаюымен байланысты болуы мүмкін. Концентрациялық таралулардың қисаю дәрежесі жүйедегі молекулалық массасы ең үлкен компоненттің мөлшеріне тәуелді. Белгілі бір құрамдарда бұл қисаю жойылып, жүйеде таза диффузия процесі жүзеге асады.

Осылайша, сандық есептеу нәтижелері қолданылған модель мен есептеу әдісінің «диффузия — концентрациялық конвекция» режимдерінің ауысу параметрлерін анықтауға және сенімді деректер алуға мүмкіндік беретінін көрсетеді.

Әдебиеттер

Arekhov V., Zhainaakov T., Clemens T., Wegner J. (2023) Measurement of effective hydrogen—methane gas diffusion coefficients in reservoir rocks, SPE Reservoir Evaluation & Engineering. — Vol. 26, № 4. — P. 1242—1257.

Bejan A. (2004) Convection Heat Transfer. — New York: Wiley. — 696 p.

Bird B.R., Stewart W.E., Lightfoot E.V. (2002) Transport Phenomena. — New York: John Wiley and Sons. — 914 p.

Bogatyrev A.F., Makeenkova O.A., Nezovitina M.A. (2013) Experimental study of gas diffusion in multicomponent gaseous systems, International Journal of Thermophysics. — Vol. 36, № 4. — P. 633—647.

Bogatyrev A.F., Makeenkova O.A., Nezovitina M.A. (2014) Temperature and concentration dependences of thermal-diffusion separation in ternary gas systems, Journal of Engineering Physics and Thermophysics. — Vol. 87, № 5. — P. 1255—1265.

Kosov V.N., Fedorenko O.V., Zhavrin Y.I., Mukamedenkyzy V. (2014) Instability of mechanical equilibrium during diffusion in a three-component gas mixture in a vertical cylinder with a circular cross section, Technical Physics. — Vol. 59, № 4. — P. 482—486.

Kossov V., Krasikov S., Fedorenko O. (2017) Diffusion and convective instability in multicomponent

gas mixtures at different pressures, *European Physical Journal Special Topics*. — Vol. 226. — P. 1177—1187.

Kossov V.N., Fedorenko O.V., Zhakebaev D.B., Kizbaev A.P. (2019) Peculiarities of the rise of structured formations at the boundary of the change of the regimes “Diffusion — Concentration convection” at an isothermal mixing of a binary mixture equally diluted by the third component, *Thermophysics and Aeromechanics*. — Vol. 26, № 1. — P. 31—40.

Kossov V.N., Mukamedenkyzy V., Tolepbergen A., Altenbach H. (2025) Peculiarities of combined mixing caused by instability of mechanical equilibrium of isothermal ternary gas mixture at diffusion, *International Journal of Chemical Engineering*. — Vol. 2025, Issue 1. — 10 p.

Levintal E., Dragila M.I., Kamai T., Weisbrod N. (2019) Measurement of gas diffusion coefficient in highly permeable porous media, *Vadose Zone Journal*. — Vol. 18. — P. 180—196.

Navon M. (1987) Pent: a periodic penta-diagonal systems solver, *Communications in Applied Numerical Methods*. — Vol. 3, № 1. — P. 63—69.

Nield D.A., Bejan A. (2006) *Convection in Porous*. — New York: Springer. — 654 p.

Ruev G.A., Fedorov A.V., Fomin V.M. (2009) Description of the anomalous Rayleigh—Taylor instability on the basis of the model of dynamics of a three-velocity three-temperature mixture, *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. — Vol. 50, № 1. — P. 49—57.

Shen J., Zhou J., Nelson G.C. et al. (2011) Measurement of effective gas diffusion coefficients of catalyst layers of PEM fuel cells with a Loschmidt diffusion cell, *Journal of Power Sources*. — Vol. 196, № 2. — P. 674—678.

Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. (1972) Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. — М.: Наука. — 392 с.

References

Arekhov V., Zhainaakov T., Clemens T., Wegner J. (2023) Measurement of effective hydrogen—methane gas diffusion coefficients in reservoir rocks, *SPE Reservoir Evaluation & Engineering*. — Vol. 26, № 4. — P. 1242—1257. (in English)

Bejan A. (2004) *Convection Heat Transfer*. — New York: Wiley. — 696 p. (in English)

Bird B.R., Stewart W.E., Lightfoot E.V. (2002) *Transport Phenomena*. — New York: John Wiley and Sons. — 914 p. (in English)

Bogatyrev A.F., Makeenkova O.A., Nezovitina M.A. (2013) Experimental study of gas diffusion in multicomponent gaseous systems, *International Journal of Thermophysics*. — Vol. 36, № 4. — P. 633—647. (in English)

Bogatyrev A.F., Makeenkova O.A., Nezovitina M.A. (2014) Temperature and concentration dependences of thermal-diffusion separation in ternary gas systems, *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. — Vol. 87, № 5. — P. 1255—1265. (in English)

Gershuni G.Z., Zhukhovitskii E.M. (1972) Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости [Convective stability of incompressible fluid]. Moscow Nauka 392 p. (in Russian)

Kossov V.N., Fedorenko O.V., Zhavrin Y.I., Mukamedenkyzy V. (2014) Instability of mechanical equilibrium during diffusion in a three-component gas mixture in a vertical cylinder with a circular cross section, *Technical Physics*. — Vol. 59, № 4. — P. 482—486. (in English)

Kossov V., Krasikov S., Fedorenko O. (2017) Diffusion and convective instability in multicomponent gas mixtures at different pressures, *European Physical Journal Special Topics*. — Vol. 226. — P. 1177—1187. (in English)

Kossov V.N., Fedorenko O.V., Zhakebaev D.B., Kizbaev A.P. (2019) Peculiarities of the rise of structured formations at the boundary of the change of the regimes “Diffusion — Concentration convection” at an isothermal mixing of a binary mixture equally diluted by the third component, *Thermophysics and Aeromechanics*. — Vol. 26, № 1. — P. 31—40. (in English)

Kossov V.N., Mukamedenkyzy V., Tolepbergen A., Altenbach H. (2025) Peculiarities of combined mixing caused by instability of mechanical equilibrium of isothermal ternary gas mixture at diffusion, *International Journal of Chemical Engineering*. — Vol. 2025, Issue 1. — 10 p. (in English)

Levintal E., Dragila M.I., Kamai T., Weisbrod N. (2019) Measurement of gas diffusion coefficient in highly permeable porous media, *Vadose Zone Journal*. — Vol. 18. — P. 180—196. (in English)



Navon M. (1987) Pent: a periodic penta-diagonal systems solver, *Communications in Applied Numerical Methods*. — Vol. 3, № 1. — P. 63—69. (in English)

Nield D.A., Bejan A. (2006) *Convection in Porous*. — New York: Springer. — 654 p. (in English)

Ruev G.A., Fedorov A.V., Fomin V.M. (2009) Description of the anomalous Rayleigh—Taylor instability on the basis of the model of dynamics of a three-velocity three-temperature mixture, *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. — Vol. 50, № 1. — P. 49—57. (in English)

Shen J., Zhou J., Nelson G.C. et al. (2011) Measurement of effective gas diffusion coefficients of catalyst layers of PEM fuel cells with a Loschmidt diffusion cell, *Journal of Power Sources*. — Vol. 196, № 2. — P. 674—678. (in English)

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP

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

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The Central Asian Academic Research Center LLP 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 Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

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

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

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the Central Asian Academic Research Center LLP.

The Editorial Board of the Central Asian Academic Research Center LLP will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

**www.nauka-nanrk.kz
ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)
<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>**

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*
Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*
Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 29.12.2025.

Формат 60x88¹/₈.
18,0 п.л. Заказ 4.