

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

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№2
2026**

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

2026 • 2



ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

Editor-in-Chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovitch, 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%3Cp%3Ehttps://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 Жабағәевич, 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

Koshtybayev T.B., Aliev Sh., Aliyeva M.E., Zhavliyeva A.T. Covariant approach to the kinetic theory of plasma in a strong electromagnetic field.....	13
Kemelbekova A., Shongalova A., Bondar E., Otunchi Ye. Recycling technologies for spent lithium-ion batteries: environmental impact, recovered products, and future development trends.....	25
Koilyk N., Baimbetova G., Dalelkhankyzy A., Kaptagay G., Primkulova Zh. Simplification of the fermionic dynamical symmetry model for identical particles and its mapping into bosonic space.....	38
Massak B., Agyl-Mussapar O., Amangeldinova S., Kurmangaliyeva V., Snow M. Constraints on Yukawa-Type short-range interactions from neutron interferometry data.....	60
Nurbayev B.M., Dmitriyeva E.A. Tin-based perovskites.....	70
Nurtazina A.S., Zhubaev A.K. Study of the effect of highly dispersed ochre on the kinetic characteristics of epoxy composites.....	92
Shokanov A.K., Khamrayev Sh.I., Smikhan Y.A. Mössbauer studies of fly ash-based tracers.....	103
Ualikhanova U.A., Kurban Y.Y., Syzdykova A.M., Altayeva G.S., Altaibayeva A.B. Breaking the degeneracy between metric and teleparallel gravity theories through multi-messenger gravitational-wave astronomy.....	119
Zhadyranova A.A., Yerzhan B. Dynamics of bounce regimes in modified teleparallel gravity.....	134
Zhusupova N.K. Application of machine learning methods in the analysis of gravitational waves and cosmological models.....	151

CHEMISTRY

Aubakirov Ye., Akhmetova F., Tashmukhambetova Zh., Toshtay K., Amantaiuly K. Conversion of Polymer Waste into Synthetic Fuel via Modification of Taizhuzhen Zeolite with Tungsten Salts.....	164
Auyeshov A.P., Eskibayeva Ch.Z., Ibrayeva A.M., Alzhanov K.B., Dikanbayeva A.K. Physicochemical study of serpentinite waste and phosphoric acid products.....	175
Bayeshova A.K., Bayeshov A., Tuleshova E.Zh. Reduction of copper ions by zinc in the presence of titanium(iv) ions in sulfuric acid solutions.....	188

Fazylov S.D., Syzdykov A.K., Pustolaikina I.A., Kazhmuratova A.T., Tazhibay A.M. Production of α -, β -, γ -oligosaccharide clathrate cytosine complexes.....	200
Jalmakhanbetova R.I., Yelshibayeva A.M., Zhumagaliyeva Zh.Zh., Mukusheva G.K. Terpenoid compounds of <i>Artemisia terrae-albae</i> growing in the Turkestan Region of Kazakhstan.....	213
Kapizov O.S., Mukhanov D.K., Dzheldybaeva I.M., Seisenov E.B., Akimbayeva A.B. Sustainable recycling of ferrosilicon machining chips from metallurgical plants into high-performance silicon–carbon anodes.....	228
Massalimova B.K. Wastewater treatment methods for heavy metal removal: production of activated carbon from biomass.....	244
Nurtai Zh., Orynassar R., Aimaganbetova Z.K., Zhanturina N.N. Simulation of kinetic parameters of vinyl ester resin samples with diatomite and dimethyl methylphosphonate fillers.....	272
Sagyntayeva A., Zhanikulov N., Sudarev E., Kaiyrbaeva M., Zhakipbayev B. Research on the quality of raw materials for obtaining gypsum-cement-pozzolanic composite material.....	286
Satayeva S., Yermukhanova S., Urazova A., Mendygaliyeva A., Sabitov B. Obtaining benzene by photocatalytic oxidation of toluene.....	302
Sdikova G.Zh., Dalabayeva N.S., Sarova N.B., Muhtar T.Zh., Zhaltirbayeva N.K. Efficiency of phosphorus-containing inhibitors in protecting steel against corrosion.....	315
Shaimardan M., Azhikhanova Z., Abutalip M., Toktarbaiuly O. Isolation and Characterization of lignin from <i>Phlomis tuberosa</i> L. biomass via acid treatment.....	329
Yesimsiitova Z.B., Seisenova A., Oryngaliyeva S.Zh., Sanuar A., Manap K.R. Obtaining carbonized materials from rice husk using a mobile pyrolysis plant for energy applications.....	338
Zhetenova M.S., Suleimenova M.Sh., Nuraly A.M., Mutushev A.Zh., Kalimoldina L.M. Development and research of carotenoid-containing extracts obtained from plant raw materials.....	353
Zhortarova A.A., Kubicek V., Salkeyeva L.K., Ibrayev M.K., Seidakhmetova R.B. Synthesis and investigation of biological activity of 1,3-Bis(4-Phenylthiazol-2-yl)-2,4-Bis(N,N- Diethylamino)-1,3-Diaza-2,4-Diphosphétidine.....	367
Zhumabek M., Tungatarova S.A., Murzin D.Yu., Baizhumanova T.S. Structural and catalytic properties of SCS-derived Co–Al–Mg–Mn catalysts in dry reforming of methane.....	383

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

Қоштыбаев Т.Б., Алиев Ш., Алиева Е.М., Жавлиева А.Т. Күшті электромагниттік өрістегі плазманың кинетикалық теориясына коварианттық көзқарас.....	13
Кемелбекова А., Шонғалова А., Бондарь Е., Отунчи Е. Пайдаланылған литий-ионды аккумуляторларды қайта өңдеу технологиялары: экологиялық әсері, алынатын өнімдер және болашақ даму бағыттары.....	25
Қойлық Н.О., Байымбетова Г.А., Дәлелханқызы А., Қаптағай Г.А., Примкулова Ж.Е. Бірдей бөлшектер үшін фермионды динамикалы-симметриялық модельді ықшамдау және оны бозондық кеңістікке бейнелеу.....	38
Масақ Б., Ағыл-Мұсапар О., Амангелдинова С., Курманғалиева В., Сноу М. Нейтрондық интерферометрия негізінде юкава типті қысқа-қашықтықтағы өзара әсерлесулерге шектеулер қою.....	60
Нұрбаев Б.М., Дмитриева Е.А. Қалайы негізіндегі перовскиттер.....	70
Нуртазина А.С., Жубаев А.К. Дисперстілігі жоғары охраның эпоксидті композиттердің кинетикалық сипаттамаларына ықпалын зерттеу.....	92
Шоканов А.К., Хамраев Ш.И., Смихан Е.А. Ұшқыш күл негізіндегі трассерлердің мессбауэрлік зерттеулері.....	103
Уалиханова У.А., Құрбан Е.Е., Сыздыкова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б. Көп арналы гравитациялық-толқындық астрономия арқылы метрикалық және телепараллельді гравитация теорияларының айырмашылығын зерттеу.....	119
Жадыранова А.А., Ержан Б. Модификацияланған телепараллель гравитациядағы серпіліс режимдерінің динамикасы.....	134
Жусупова Н.К. Машиналық оқыту әдістерін гравитациялық толқындар мен космологиялық модельдерді талдауда қолдану.....	151

ХИМИЯ

Аубакиров Е., Ахметова Ф., Ташмухамбетова Ж., Тоштай Қ., Амантайұлы Қ. Тайжүзген цеолитін вольфрам тұздарымен модификациялау арқылы полимер қалдықтарын синтетикалық отынға түрлендіру.....	164
Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Диканбаева А.К. Серпентинит қалдықтарының фосфор қышқылымен әрекеттесу өнімдерінің физика-химиялық зерттелуі.....	175

Башова А.К., Башов А.Б., Түлешова Э.Ж.

Мыс иондарын күкіртқышқылды ерітінділерде титан (IV) иондары қатысында
мырышпен тотықсыздандыру.....188

Фазылов С.Д., Сыздықов А.К., Пустолайкина И.А., Қажмұратова А.Т., Тәжібай А.М.
Цитизиннің α -, β -, γ -олигосахаридтермен клатраттыкешендерін алу.....200**Джалмаханбетова Р.И., Елшібаева А.М., Жумагалиева Ж.Ж., Мукушева Г.К.**
Қазақстанның Түркістан өңірінде өсетін *Artemisia terrae-albae* терпеноидты
косылыстары.....213**Капизов О.С., Муханов Д.К., Желдыбаева И.М., Сейсенев Е.Б., Акимбаева А.Б.**
Металлургиялық зауыттардың ферросилиций жоңқаларын жоғары өнімді
кремний-көміртекті анодтарға тұрақты қайта өңдеу.....228**Масалимова Б.К.**
Ауыр металдардан ағын суларды жою әдістері: биомассада белсендендірілген
көміртек алу.....244**Нуртай Ж., Орынбасар Р.О., Аймағанбетова З.К., Жантурина Н.Н.**
Диатомит пен диметил метилфосфонат толтырғыштары бар винилэфир шайыр
үлгілерінің кинетикалық параметрлерінің модельдеу.....272**Сағынтаева А., Жаниқұлов Н., Сударев Е., Қайырбаева М., Жакипбаев Б.**
Гипс-цемент-пуццоланды композициялық материал алу үшін қажетті
шикізаттардың сапасын зерттеу.....286**Сатаева С., Ермуханова С., Уразова А., Мендығалиева А., Сабитов Б.**
Толуолдың фотокаталитикалық тотығуы арқылы бензол алу.....302**Сдикова Г.Ж., Далабаева Н.С., Сарова Н.Б., Мұхтар Т.Ж., Жалтырбаева Н.К.**
Фосфор ингибиторлардың болаттың жемірілуіне қарсы тиімділігі.....315**Шаймардан М., Ажиханова Ж., Әбутәліп М., Тоқтарбайұлы О.**
Phlomis Tuberosa L. өсімдігі биомассасынан лигнинді қышқылдық өңдеу арқылы
бөліп алу және сипаттау.....329**Есимсиитова З.Б., Сейсенова А., Орынғалиева С.Ж., Сануар А., Манап К.Р.**
Энергиялық қолдану үшін жылжымалы пиролиз қондырғысын пайдалану арқылы
күріш қауызынан көміртекті материалдар алу.....338**Жетенова М.С., Сүлейменова М.Ш., Нұралы Ә.М., Мутушев А.Ж.,
Калимолдина Л.М.**
Өсімдік шикізатынан алынған құрамында каротиноид бар сығындыларды
өзірлеу және зерттеу.....353

Жортарова А.А., Kubicek V., Салькева Л.К., Ибраев М.К., Сейдахметова Р.Б.
1,3-бис(4-фенилтиазол-2-ил)-2,4-бис(N,N-диэтиламино)-1,3-диазо-2,4-дифосфетидиннің
синтезі және биологиялық белсенділігін зерттеу.....367

Жұмабек М., Тунгатарова С.А., Мурзин Д.Ю., Байжуманова Т.С.
SCS әдісімен дайындалған Co–Al–Mg–Mn катализаторларының метанның құрғақ
реформингіндегі құрылымдық және каталитикалық қасиеттері.....383

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Коштыбаев Т.Б., Алиев Ш., Алиева М.Е., Жавлиева А.Т.

Ковариантный подход к кинетической теории плазмы в сильном электромагнитном поле.....13

Кемелбекова А., Шонгалова А., Бондарь Е., Отунчи Е.

Технологии переработки отработанных литий-ионных аккумуляторов: экологическое воздействие, получаемые продукты и будущие направления развития.....25

Қойлық Н.О., Баймбетова Г.А., Дәлелханқызы А., Қаптағай Г.Ә., Примкулова Ж.Е.

Упрощение фермионной динамико-симметрической модели для идентичных частиц и её отображение в бозонное пространство.....38

Масақ Б., Ағыл-Мұсапар О., Амангелдинова С., Курмангалиева В., Сноу М.

Ограничения на юкавовские короткодействующие взаимодействия на основе нейтронной интерферометрии.....60

Нурбаев Б.М., Дмитриева Е.А.

Перовскиты на основе олова.....70

Нуртазина А.С., Жубаев А.К.

Исследование влияния высокодисперсной охры на кинетические характеристики эпоксидных композитов.....92

Шоканов А.К., Хамраев Ш.И., Смихан Е.А.

Мёссбауэровские исследования трассеров на основе летучей золы.....103

Уалиханова У.А., Курбан Е.Е., Сыздыкова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б.

Разрешение вырождения метрических и телепараллельных теорий гравитации посредством многоканальной гравитационно-волновой астрономии.....119

Жадыранова А.А., Ержан Б.

Динамика отскоковых режимов в модифицированной телепараллельной гравитации.....134

Жусупова Н.К.

Применение методов машинного обучения при анализе гравитационных волн и космологических моделей.....151

ХИМИЯ

Аубакиров Е., Ахметова Ф., Ташмухамбетова Ж., Тоштай К., Амантайулы К.

Конверсия полимерных отходов в синтетическое топливо путем модификации цеолита тайжугзен солями вольфрама.....164

Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Диканбаева А.К. Физико-химическое исследование продуктов взаимодействия серпентинитовых отходов и фосфорной кислоты.....	175
Баешова А.К., Баешов А.Б., Тулешова Э.Ж. Восстановление ионов меди цинком в присутствии ионов титана (IV) в растворах серной кислоты.....	188
Фазылов С.Д., Сыздыков А.К., Пустолайкина И.А., Кажмуратова А.Т., Тажибай А.М. Получение α -, β -, γ -олигосахаридных клатратных комплексов цитизина.....	200
Джалмаханбетова Р.И., Елшыбаева А.М., Жумагалиева Ж.Ж., Мукушева Г.К. Терпеноидные соединения <i>Artemisia terrae-albae</i> , произрастающего в Туркестанском регионе Казахстана.....	213
Капизов О.С., Муханов Д.К., Желдыбаева И.М., Сейсенов Е.Б., Акимбаева А.Б. Устойчивая переработка стружки ферросилиция металлургических заводов в высокопроизводительные кремний-углеродные аноды.....	228
Масалимова Б.К. Методы очистки сточных вод от тяжелых металлов: получение активированного угля из биомассы.....	244
Нуртай Ж., Орынбасар Р.О., Аймаганбетова З.К., Жантурина Н.Н. Моделирование кинетических параметров образцов винилэфирных смол с наполнителями из диатомита и диметилметилфосфоната.....	272
Сагынтаева А., Жаникулов Н., Сударев Е., Кайырбаева М., Жакипбаев Б. Исследование качества сырья для получения гипсо-цементно-пуццоланового композиционного материала.....	286
Сатаева С., Ермуханова С., Уразова А., Мендыгилиева А., Сабитов Б. Получение бензола методом фотокаталитического окисления толуола.....	302
Сдикова Г.Ж., Далабаева Н.С., Сарова Н.Б., Мухтар Т.Ж., Жалтырбаева Н.К. Эффективность фосфорсодержащих ингибиторов против коррозии стали.....	315
Шаймардан М., Ажиханова Ж., Абуталип М., Токтарбай О. Выделение и характеристика лигнина из биомассы <i>Phlomis Tuberosa</i> L. с помощью кислотной обработки.....	329
Есимсиитова З.Б., Сейсенова А., Орынгалиева С.Ж., Сануар А., Манап К.Р. Получение карбонизированных материалов из рисовой шелухи с использованием мобильной пиролизной установки для энергетических применений.....	338

**Жетенова М.С., Сулейменова М.Ш., Нуралы А.М., Мутушев А.Ж.,
Калимолдина Л.М.**

Разработка и исследование каротиноидсодержащих экстрактов, полученных
из растительного сырья.....353

Жортарова А.А., Kubicek V., Салькева Л.К., Ибраев М.К., Сейдахметова Р.Б.

Синтез и исследование биологической активности 1,3-бис(4-фенилтиазол-2-ил)-2,4-
бис(N,N-диэтиламино)-1,3-диазо-2,4-дифосфетидина.....353

Жумабек М., Тунгатарова С.А., Мурзин Д.Ю., Байжуманова Т.С.

Структурные и каталитические свойства Co–Al–Mg–Mn катализаторов, приготовленных
методом SCS, для сухого риформинга метана.....383

ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES
ISSN 2224-5227
Volume 2.
Number 358 (2026), 338–352

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.456>

UDC: 661.183.2:661.666.3:620.92

IRSTI: 55.09.35

©Yesimsiitova Z.B.^{1,2*}, Seisenova A.¹, Oryngaliyeva S.Zh.^{1,3}, Sanuar A.¹,
Manap K.R.^{1,3}, 2026.

¹Scientific Center for New Technologies, Almaty, Kazakhstan;

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

³AlAkSan, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: amanatglobalhalima@gmail.com

OBTAINING CARBONIZED MATERIALS FROM RICE HUSK USING A MOBILE PYROLYSIS PLANT FOR ENERGY APPLICATIONS

Yesimsiitova Zura — Candidate of Biological Sciences, Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: zura1958@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4735-2033>;

Seisenova Aknur — PhD, Scientific Center for New Technologies; AlAkSan, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: z_aknura@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8981-307X>;

Oryngaliyeva Sandugash — Master's student, Research Fellow, LLP "Scientific Center for New Technologies"; AlAkSan, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: Amanatglobalsert@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-2169-3074>;

Sanuar Ayazhan — Master's student, LLP "Scientific Center for New Technologies"; AlAkSan, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: aiazhan.sanuar.03@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8224-6500>;

Manap Kalima — Master's degree, LLP "Scientific Center for New Technologies"; AlAkSan, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: amanatglobalhalima@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8397-8375>.

Abstract. This study investigates the conversion of agricultural biomass waste, specifically rice husk of the "Lider" variety grown in the Kyzylorda region of the Republic of Kazakhstan, into carbonized materials for energy storage applications. The relevance of the research is associated with the need for efficient utilization of plant-derived waste and the development of functional carbon materials for electrochemical devices. Rice husk was used as the raw material and was subjected to preliminary cleaning, drying, and grinding to obtain a homogeneous fraction. Carbonization was carried out by pyrolysis at temperatures ranging from 350 to 800 °C. The experiments were performed using a mobile pyrolysis unit of proprietary design, enabling biomass processing directly at the site of waste generation.

The influence of the unit design and carbonization conditions on the formation of the final product was evaluated. The obtained materials were characterized by

scanning electron microscopy (SEM), nitrogen adsorption-desorption analysis (BET), and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS). The results demonstrated that the carbonized material possesses a well-developed hierarchical porous structure consisting of micro- and mesopores. The specific surface area reached 146.94 m²/g, the total pore volume was 0.1051 cm³/g, and the average pore diameter was 2.86 nm. Elemental analysis revealed a carbon content of 68.36 wt.%, indicating efficient carbonization. The presence of silicon is attributed to the natural composition of rice husk and provides opportunities for the development of silicon-carbon composite materials.

The findings demonstrate that the proposed technological approach enables both efficient biomass waste utilization and the production of promising carbon materials for lithium-ion and sodium-ion batteries, supercapacitors, and other electrochemical energy storage systems.

Keywords: rice husk, biomass waste, carbonization, pyrolysis, carbon materials, mobile pyrolysis unit, energy storage systems

Funding: *This research has been/was/is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR28713383).*

For citations: Yesimsiitova Z.B., Seisenova A., Oryngaliyeva S.Zh., Sanuar A., Manap K.R. Obtaining Carbonized Materials from Rice Husk Using a Mobile Pyrolysis Plant for Energy Applications. *Academic Journal of Physical and Chemical Sciences*. 2026. No.2. Pp. 338–352. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.456>

©Есимситова З.Б.^{1,2*}, Сейсенова А.¹, Орынғалиева С.Ж.^{1,3}, Сануар А.¹,
Манап К.Р.^{1,3}, 2026.

¹ТОО «Scientific Center for New Technologies», Алматы, Қазақстан;

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

³AlAkSan, Алматы, Қазақстан.

E-mail: amanatglobalhalima@gmail.com

ЭНЕРГИЯЛЫҚ ҚОЛДАНУ ҮШІН ЖЫЛЖЫМАЛЫ ПИРОЛИЗ ҚОНДЫРҒЫСЫН ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ КҮРІШ ҚАУЫЗЫНАН КӨМІРТЕКТІ МАТЕРИАЛДАР АЛУ

Есимситова Зура — биология ғылымдарының кандидаты, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: zura1958@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4735-2033>;

Сейсенова Акнұр — PhD, Scientific Center for New Technologies; AlAkSan, Алматы, Қазақстан,

E-mail: z_aknura@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8981-307X>;

Орынғалиева Сандұғаш — магистрант, ғылыми қызметкер, «Scientific Center for New Technologies» ЖШС; AlAkSan, Алматы, Қазақстан,

E-mail: Amanatglobalsert@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-2169-3074>;

Сануар Аяжан — магистрант, «Scientific Center for New Technologies» ЖШС; AlAkSan, Алматы, Қазақстан,

E-mail: aiazhan.sanuar.03@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8224-6500>;

Манап Калима — магистр, «Scientific Center for New Technologies» ЖШС; AlAkSan, Алматы, Қазақстан,

E-mail: amanatglobalhalima@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8397-8375>.

Аннотация. Бұл жұмыста ауыл шаруашылығы биоқалдықтарын, атап айтқанда Қазақстан Республикасының Қызылорда облысында өсірілетін «Лидер» сортының күріш қауызын қайта өңдеу арқылы энергия жинақтау жүйелеріне арналған көміртекті материалдарды алу мәселелері қарастырылған. Зерттеудің өзектілігі өсімдік текті қалдықтарды тиімді кәдеге жарату және электрохимиялық құрылғылар үшін жаңа функционалдық көміртекті материалдарды әзірлеу қажеттілігімен байланысты. Бастапқы шикізат ретінде күріш қауызы пайдаланылып, ол алдын ала тазартылып, кептіріліп және біртекті фракцияға дейін ұсақталды. Карбонизация процесі 350–800 °C температура аралығында пиролиз әдісі арқылы жүргізілді. Тәжірибелер биоқалдықтарды олардың түзілу орындарында өңдеуге мүмкіндік беретін авторлық мобильді пиролиз қондырғысын қолдану арқылы орындалды.

Зерттеу барысында қондырғының конструкциялық ерекшеліктері және олардың карбонизация тиімділігіне әсері бағаланды. Алынған материалдар сканерлеуші электрондық микроскопия (СЭМ), азоттың төмен температурадағы адсорбция-десорбциясы (БЭТ-талдау) және энергия-дисперсиялық рентгендік спектроскопия (EDS) әдістерімен зерттелді. Нәтижелер карбондалған материалдың микро- және мезокеуектерден тұратын дамыған иерархиялық кеуекті құрылымға ие екенін көрсетті. Материалдың меншікті беткі ауданы 146,94 м²/г, кеуектердің жалпы көлемі 0,1051 см³/г, ал орташа кеуек диаметрі 2,86 нм құрады. Элементтік талдау нәтижелері бойынша көміртек мөлшері 68,36 мас.% жеткені анықталды, бұл карбонизация процесінің тиімді өткенін көрсетеді. Кремнийдің болуы күріш қауызының табиғи құрамымен байланысты және кремний-көміртек композиттерін алуға мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері ұсынылған технологиялық тәсілдің биоқалдықтарды кәдеге жарату мен литий-ионды, натрий-ионды аккумуляторлар, суперконденсаторлар және басқа да электрохимиялық жүйелер үшін перспективалы көміртекті материалдар алуды бір мезгілде қамтамасыз ететінін көрсетті.

Түйін сөздер: күріш қауызы, биоотходтар, карбондалу, пиролиз, көміртекті материалдар, мобильді пиролиз қондырғысы, энергия жинақтау жүйелері

©Есимсиитова З.Б.^{1,2*}, Сейсенова А.¹, Орынғалиева С.Ж.^{1,3}, Сануар А.¹,
Манап К.Р.^{1,3}, 2026.

¹ТОО «Scientific Center for New Technologies», Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

³AlAkSan, Алматы, Казахстан.

E-mail: amanatglobalhalima@gmail.com

ПОЛУЧЕНИЕ КАРБОНИЗИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНОЙ ПИРОЛИЗНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

Есимсиитова Зура — кандидат биологических наук, профессор, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: zura1958@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4735-2033>;

Сейсенова Акнұр — PhD, ТОО «Scientific Center for New Technologies»; AlAkSan, Алматы, Казахстан,

E-mail: z_aknura@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8981-307X>;

Орынғалиева Сандугаш — магистрант, научный сотрудник, ТОО «Scientific Center for New Technologies»; AlAkSan, Алматы, Казахстан,

E-mail: Amanatglobalsert@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-2169-3074>;

Сануар Аязжан — магистрант, ТОО «Scientific Center for New Technologies»; AlAkSan, Алматы, Казахстан,

E-mail: aiazhan.sanuvar.03@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8224-6500>;

Манап Қалима — магистр, ТОО «Scientific Center for New Technologies»; AlAkSan, Алматы, Казахстан,

E-mail: amanatglobalhalima@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8397-8375>.

Аннотация. В работе рассмотрена переработка сельскохозяйственных биоотходов, в частности рисовой шелухи сорта «Лидер» (Кызылординская область, Республика Казахстан), с целью получения карбонизированных материалов для применения в системах накопления энергии. Актуальность исследования обусловлена необходимостью рациональной утилизации растительных отходов и разработкой новых функциональных углеродных материалов для электрохимических устройств. В качестве исходного сырья использовали рисовую шелуху, которую предварительно очищали, высушивали и измельчали до однородной фракции. Карбонизацию осуществляли методом пиролиза в диапазоне температур 350–800 °С с использованием мобильной пиролизной установки собственной разработки, позволяющей проводить переработку биоотходов непосредственно в местах их образования. Исследованы конструктивные особенности разработанной установки и их влияние на эффективность процесса карбонизации. Полученные материалы были охарактеризованы методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), низкотемпературной адсорбции-десорбции азота (ВЕТ-анализ) и энергодисперсионного рентгеноспектрального анализа (EDS). Установлено, что карбонизированный материал обладает развитой иерархической пористой структурой, включающей микро- и мезопоры. Удельная поверхность образцов

составила 146,94 м²/г, общий объём пор - 0,1051 см³/г, а средний диаметр пор - 2,86 нм. Согласно данным элементного анализа, содержание углерода достигало 68,36 мас. %, что свидетельствует об эффективном протекании процесса карбонизации. Установлено, что присутствие кремния обусловлено природными особенностями химического состава рисовой шелухи и создаёт предпосылки для дальнейшего получения кремний-углеродных композитов. Показано, что предложенный технологический подход позволяет одновременно решать задачи утилизации сельскохозяйственных отходов и получения перспективных углеродных материалов для литий-ионных и натрий-ионных аккумуляторов, суперконденсаторов и других электрохимических систем.

Ключевые слова: рисовая шелуха, биоотходы, карбонизация, пиролиз, углеродные материалы, мобильная пиролизная установка, системы накопления энергии

Введение. Рост потребности в эффективных системах накопления энергии стимулирует поиск новых материалов для аккумуляторов и суперконденсаторов. Особый интерес представляют углеродные материалы, полученные из биомассы, благодаря их доступности, низкой стоимости и развитой пористой структуре (Askaruly et al., 2025).

В последние годы активно исследуются кремнийсодержащие анодные материалы, обладающие высокой теоретической ёмкостью (до 4200 мА·ч/г). Однако их применение ограничено значительными объёмными изменениями при литировании, что приводит к деградации структуры и снижению срока службы аккумуляторов.

Одним из эффективных решений является использование углеродной матрицы, которая обеспечивает механическую стабилизацию, улучшает электропроводность и способствует формированию стабильного межфазного слоя. Современные исследования показывают, что материалы на основе биоотходов (рисовая шелуха, бамбук, тростник) демонстрируют высокую удельную ёмкость (800–1500 мА·ч/г) и стабильность при циклировании (Wang et al., 2021; Jorn-am et al., 2024).

В то же время важной глобальной проблемой является накопление биоотходов, особенно сельскохозяйственного и пищевого происхождения. По оценкам, ежегодно в мире образуются сотни миллионов тонн растительных остатков, значительная часть которых утилизируется путём сжигания или складирования, что приводит к выбросам парниковых газов, загрязнению воздуха и деградации почв. В Казахстане, особенно в южных регионах, включая Кызылординскую область, образуются значительные объёмы рисовой шелухи, которая часто не находит рационального применения и становится источником экологической нагрузки (Sun et al., 2021).

В связи с этим использование биомассы как возобновляемого сырья для получения углеродных материалов представляет собой перспективное направление, соответствующее принципам устойчивого развития и циркулярной

экономики. Карбонизированные материалы, полученные из биоотходов, находят применение в качестве анодов для литий- и натрий-ионных аккумуляторов, а также в суперконденсаторах. Их преимущества включают низкую стоимость, экологическую безопасность, развитую пористую структуру и высокую удельную ёмкость.

Существующие методы переработки биомассы включают пиролиз, карбонизацию и активацию, позволяющие получать материалы с заданной структурой и свойствами. В качестве сырья широко используются рисовая шелуха, древесные отходы, травянистые растения, скорлупа орехов и другие виды биоотходов. Однако большинство технологий требует стационарного оборудования и значительных энергетических затрат, что ограничивает их применение в условиях удалённых или сельскохозяйственных регионов (Wu et al., 2022).

В этом контексте получение карбонизированных материалов из растительных отходов является важным этапом создания функциональных углеродных матриц для энергетических применений (Song et al., 2020; Yang et al., 2024).

Дополнительной задачей является разработка технологий переработки биоотходов непосредственно на месте их образования. Использование мобильных пиролизных установок позволяет снизить транспортные затраты, уменьшить выбросы и повысить энергоэффективность процесса (Gao et al., 2025)..

Актуальность и научная новизна работы заключаются в разработке и применении мобильной пиролизной установки нестандартной конструкции, обеспечивающей эффективную переработку биоотходов с получением карбонизированного материала с заданными структурными характеристиками.

Целью данной работы является получение карбонизированного материала из рисовой шелухи с использованием мобильной пиролизной установки и исследование его структуры для энергетических применений.

Материалы исследования и методы. Сырьё. В качестве исходного сырья использовали сельскохозяйственные биоотходы - рисовую шелуху сорта «Лидер», собранную в Кызылординской области Республики Казахстан. Данный вид биомассы характеризуется высокой доступностью, значительными объёмами образования и наличием органической и минеральной составляющих, что делает его перспективным для получения углеродных материалов.

Перед термической переработкой сырьё подвергали предварительной подготовке. Рисовую шелуху очищали от механических примесей (почвы, пыли и посторонних включений), после чего проводили сушку при температуре 100–105 °С до достижения постоянной массы с целью удаления влаги.

Высушенное сырьё измельчали механическим способом до получения однородной фракции. Для повышения равномерности последующей термической обработки использовали вибрационное сито, позволяющее получать частицы размером до **80 мкм**. Уменьшение размера частиц способствует улучшению теплообмена и более равномерному протеканию процесса карбонизации (Gautam et al., 2023; Kong et al., 2023).

Нестандартное оборудование для утилизации биоотходов и получения карбонизированного материала. Мобильная пиролизная установка. Для получения карбонизированного материала использовали мобильную пиролизную установку собственной разработки, предназначенную для термической переработки биоорганических и горно-металлургических отходов с получением углеродсодержащих продуктов (Seisenova et al., 2025).

Разработка установок направлена на решение задачи переработки отходов непосредственно в местах их образования с повышением энергоэффективности процесса, снижением выбросов загрязняющих веществ и упрощением конструкции оборудования.

В отличие от традиционных стационарных пиролизных систем, предложенная установка обеспечивает мобильность, автономность и возможность интеграции всех стадий переработки в едином технологическом цикле.

Конструкция установки. Мобильная пиролизная установка (рисунок 1) включает следующие основные узлы:

- приёмно-подготовительный блок с загрузочным бункером (I) для подачи исходного сырья;
- сушильный отсек (II), обеспечивающий удаление влаги перед термической обработкой;
- горизонтальный герметичный реактор (III), в котором осуществляется процесс пиролиза при температуре 350–800 °С в условиях ограниченного доступа кислорода;
- газовые горелки (IV), работающие на собственном пиролизном газе, что обеспечивает энергоэффективность процесса;
- система конденсации (V), предназначенная для охлаждения и разделения летучих продуктов;
- измельчитель с виброситом (VI), обеспечивающий фракционирование сырья до размеров частиц ≤ 80 мкм;
- вертикальный улавливатель жидких продуктов (VII) для сбора конденсированных жидких фракций;
- скруббер Вентури (VIII), установленный на выходе реактора и предназначенный для очистки газовых выбросов от твёрдых и аэрозольных частиц;
- приёмник готового продукта (IX) для сбора карбонизированного материала.

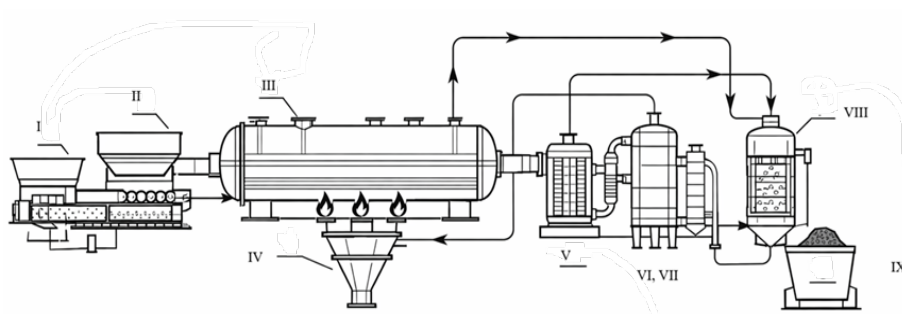


Рисунок 1. Устройство мобильная пиролизная установка.

Принцип работы установки. Сырьё загружается в бункер (I) и направляется в сушильный отсек (II), где происходит удаление остаточной влаги. После предварительной подготовки материал поступает в горизонтальный герметичный реактор (III), где при температуре 350–800 °C осуществляется процесс пиролиза.

В результате термического разложения биомассы образуются:

- твёрдый углеродсодержащий остаток;
- пиролизный газ;
- жидкие продукты.

Пиролизный газ используется в качестве топлива для газовых горелок (IV), что обеспечивает частичную энергетическую автономность установки. Газообразные продукты проходят через систему конденсации (V), после чего очищаются в скруббере Вентури (VIII). Жидкие продукты пиролиза после конденсации собирались в вертикальном улавливателе (VII). Полученная жидкая фракция (пиролизное масло) может использоваться в качестве вторичного энергетического сырья либо направляться на дальнейшую переработку в зависимости от состава и условий эксплуатации установки, а твёрдый продукт поступает в приёмник (IX).

Разработанная установка обеспечивает повышение производительности процесса переработки, упрощение конструктивного исполнения оборудования, увеличение функциональности за счёт интеграции нескольких технологических стадий, снижение выбросов загрязняющих веществ, повышение энергоэффективности благодаря использованию пиролизного газа, а также возможность переработки отходов непосредственно в местах их образования..

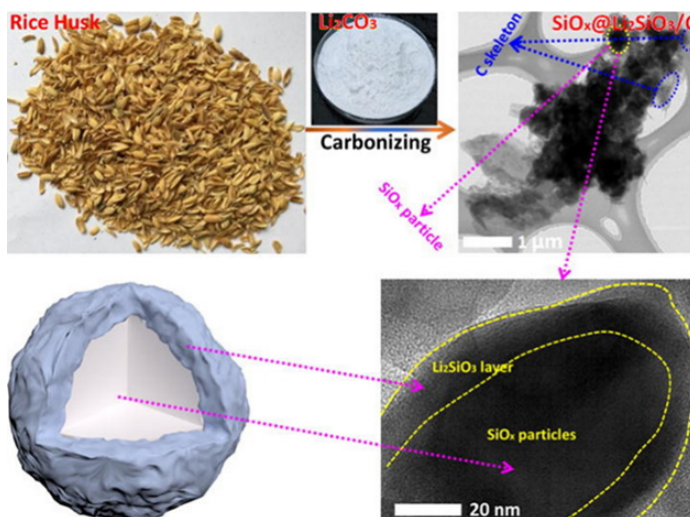


Рисунок 2. Морфологические изменения рисовой шелухи на различных стадиях переработки: исходное сырьё, измельчённое сырьё и карбонизированный продукт.

Для исследования структурных, текстурных и элементных характеристик карбонизированного материала применяли комплекс современных физико-химических методов анализа.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ). Морфология поверхности и микроструктура образцов исследовались методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с использованием электронного микроскопа (модель указать).

Перед анализом образцы покрывали тонким углеродным слоем методом вакуумного напыления.

Съёмка проводилась при ускоряющем напряжении 5–20 кВ с различными увеличениями в диапазоне от $\times 500$ до $\times 20\,000$, что позволило оценить морфологию поверхности, размер и форму частиц, наличие пористой структуры, степень сохранения природной структуры биомассы, а также формирование углеродного каркаса после карбонизации.

БЭТ-анализ (адсорбция–десорбция азота). Текстурные характеристики образцов определялись методом низкотемпературной адсорбции–десорбции азота с использованием анализатора удельной поверхности (модель указать).

В качестве адсорбата использовали азот (N_2) при температуре 77 К. Перед измерениями образцы подвергались дегазации при температуре 150–300 °С в течение 4–12 часов для удаления адсорбированных примесей и влаги.

Расчёт текстурных параметров проводился с использованием модели Брунауэра–Эммета–Теллера (БЕТ) для определения удельной поверхности, метода Барретта–Джойнера–Халенды (БДХ) для анализа распределения пор по размерам, а также метода DFT для оценки микропористой структуры. В ходе анализа определялись удельная поверхность (m^2/g), общий объём пор (cm^3/g), средний диаметр пор (нм) и распределение микро-, мезо- и макропор.

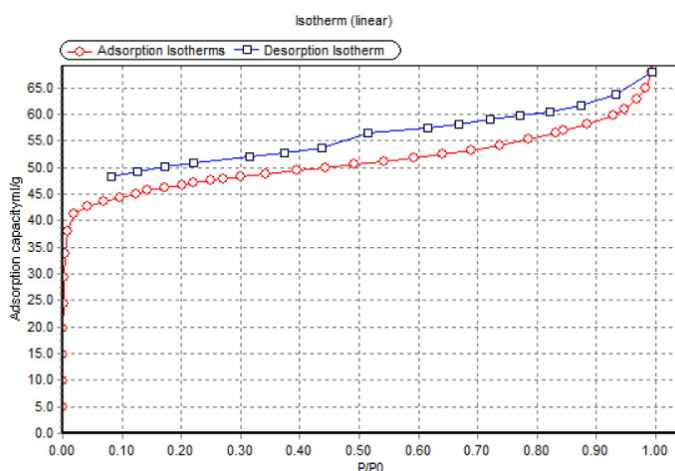


Рисунок 3. Изотермы адсорбции–десорбции для карбонизированного материала из рисовой шелухи.

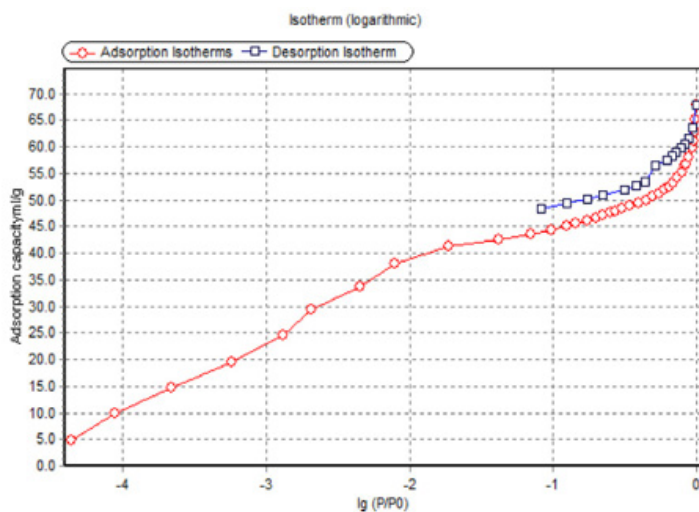


Рисунок 4. Изотермы адсорбции–десорбции азота (N_2) карбонизированного материала в координатах $\lg(P/P_0)$.

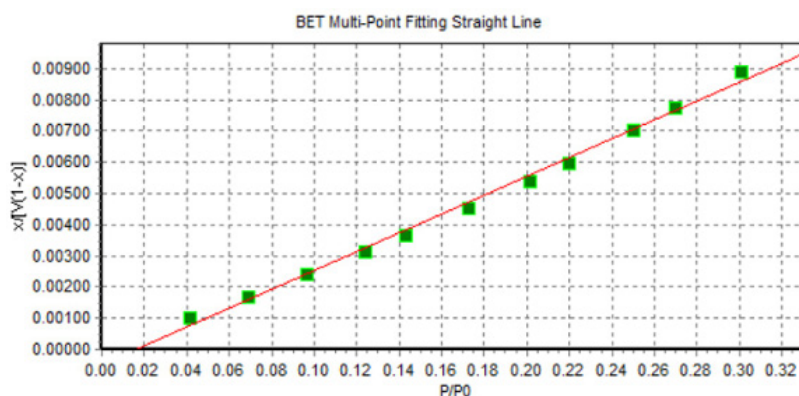


Рисунок 5. Линейная аппроксимация уравнения БЭТ для карбонизированного материала.

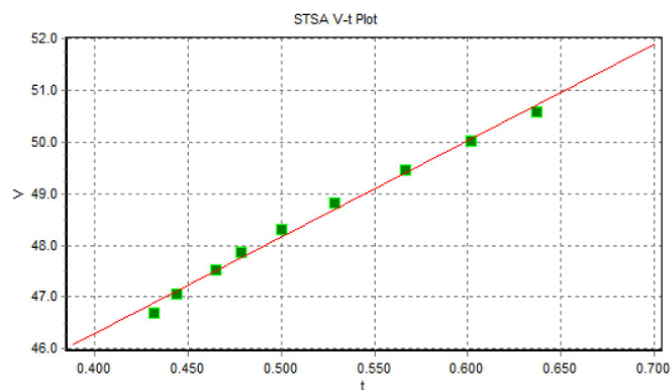


Рисунок 6. t-график ($V-t$ plot) для определения микропористости карбонизированного материала.

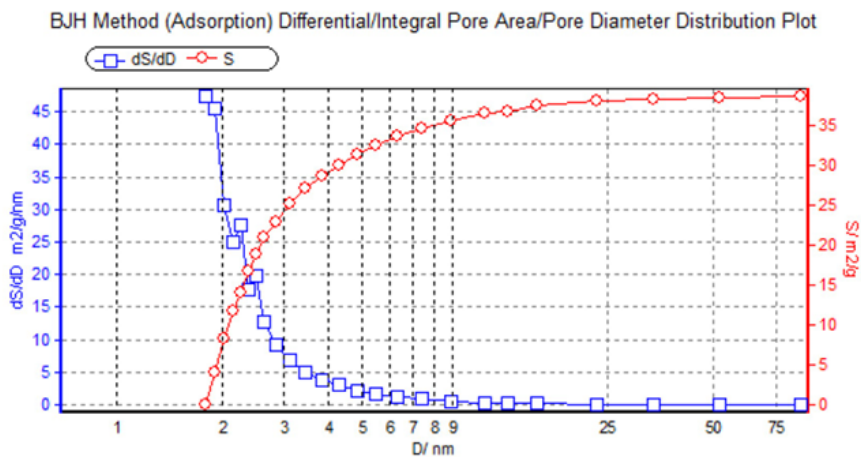


Рисунок 7. Распределение пор по размерам карбонизированного материала (метод ВЈН).

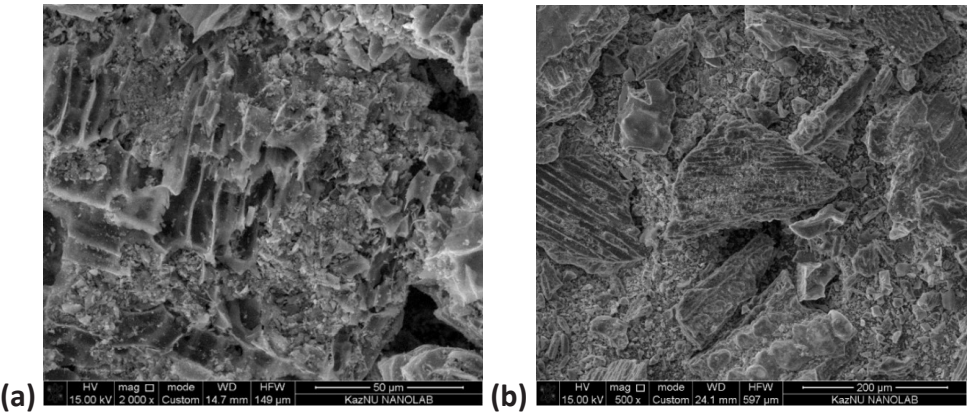


Рисунок 8. СЭМ-изображения карбонизированного материала из рисовой шелухи:
(а) детальная структура пор при увеличении $\times 2000$ (или какое у тебя фактически);
(б) морфология при увеличении $\times 500$.

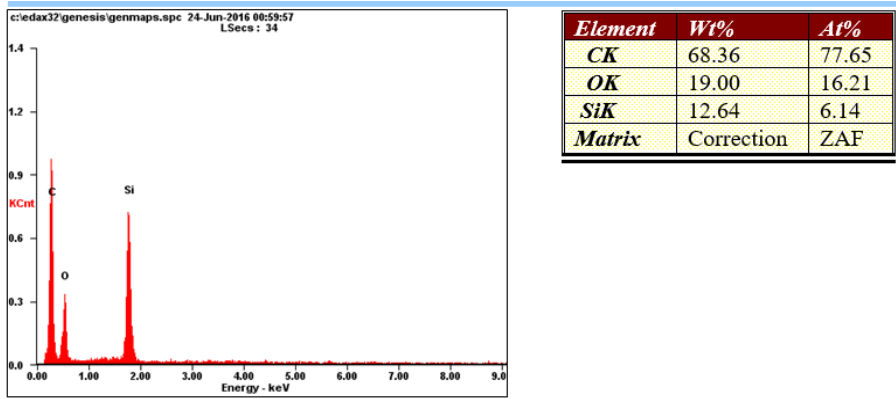


Рисунок 9. EDS-спектр и количественный элементный анализ карбонизированного материала.

Результаты и обсуждение. Результаты исследования морфологических, текстурных и элементных характеристик карбонизированного материала, полученного из рисовой шелухи, показали существенные изменения структуры исходного сырья в процессе термической обработки. Исходная рисовая шелуха характеризуется выраженной волокнистой структурой с анизотропной организацией, обусловленной природной морфологией растительных тканей. После измельчения наблюдается разрушение макроструктуры и формирование более однородной дисперсной системы, что способствует равномерному прогреву материала при последующей карбонизации.

В процессе пиролиза при температуре 350–800 °С происходит термическое разложение основных компонентов биомассы (целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина), сопровождающееся выделением летучих веществ и формированием углеродного каркаса. СЭМ-изображения демонстрируют, что карбонизированный материал представлен фрагментированными частицами неправильной формы со слоистой и пластинчатой морфологией. При увеличении наблюдаются продольные каналы, унаследованные от сосудистой структуры растения, а также развитая система пор, включающая микропоры и каверны. Поверхность материала характеризуется высокой шероховатостью и структурной неоднородностью. Таким образом, формируется иерархическая пористая структура с частичным сохранением природной морфологии биомассы.

Результаты низкотемпературной адсорбции–десорбции азота показали, что полученный материал обладает развитой удельной поверхностью и пористой структурой. Удельная поверхность, рассчитанная по методу БЭТ, составила 146.94 м²/г, что свидетельствует о формировании развитого углеродного каркаса. При этом микропористая поверхность достигает 123.90 м²/г, тогда как внешняя поверхность составляет 23.04 м²/г, что указывает на преобладание микропор. Общий объём пор составляет 0.1051 см³/г, при этом объём мезопор, определённый методом ВЖН, составляет 0.0512 см³/г (адсорбция) и 0.0433 см³/г (десорбция). Средний размер пор равен 2.86 нм, что соответствует мезопористой области, при этом наиболее вероятный размер пор составляет около 3.93 нм, а медианный размер микропор - 0.76 нм.

Анализ изотерм адсорбции–десорбции показывает поведение, характерное для мезопористых материалов (тип IV по классификации IUPAC) с наличием гистерезиса. Распределение пор по размерам подтверждает, что основная доля пор приходится на диапазон 2–5 нм, что является оптимальным для электрохимических применений. t-график указывает на значительный вклад микропор в общую структуру материала. Таким образом, материал характеризуется иерархической пористой структурой, включающей микро- и мезопоры.

Сформированная структура является благоприятной для применения в электрохимических системах, поскольку микропоры обеспечивают накопление заряда, мезопоры способствуют эффективной диффузии электролита, а развитая удельная поверхность увеличивает активную площадь взаимодействия. Полученные значения соответствуют литературным данным для карбонизированных

материалов из биомассы (100–300 м²/г), что подтверждает конкурентоспособность разработанного материала.

Элементный анализ показал присутствие углерода, кислорода и кремния. Следует отметить, что значительная часть кислорода связана с кремнием в составе диоксида кремния (SiO₂), который является характерным компонентом рисовой шелухи. Остальная часть кислорода может быть обусловлена наличием кислородсодержащих функциональных групп на поверхности углеродной матрицы. Присутствие кремния связано с природной способностью рисовой шелухи аккумулировать кремнийсодержащие соединения и делает полученный материал перспективным для создания кремний-углеродных композитов. Наличие кислорода связано с остаточными функциональными группами на поверхности, которые могут способствовать улучшению взаимодействия с электролитом. Присутствие кремния обусловлено природной способностью рисовой шелухи аккумулировать кремнийсодержащие соединения и может способствовать улучшению электрохимических характеристик материала, а также делает его перспективным для создания кремний-углеродных композитов.

Анализ показал, что температура карбонизации оказывает ключевое влияние на формирование структуры материала. При температуре 350–500 °С наблюдается частичное сохранение природной структуры, тогда как при повышении температуры до 600–800 °С происходит более глубокая карбонизация с формированием развитого углеродного каркаса и увеличением удельной поверхности. Конструкция мобильной пиролизной установки также оказывает значительное влияние на качество получаемого материала. Использование герметичного реактора обеспечивает ограниченный доступ кислорода и предотвращает окисление углерода, а применение пиролизного газа в качестве топлива способствует равномерному нагреву и повышению энергоэффективности процесса. Наличие системы конденсации и скруббера Вентури обеспечивает очистку газовых выбросов и стабилизацию технологического режима.

Полученные результаты согласуются с литературными данными для карбонизированных материалов, полученных из различных видов биомассы, включая рисовую шелуху, древесные отходы и травянистые растения. Формирование структуры материала обусловлено термическим разложением органической части биомассы, удалением летучих компонентов и последующим образованием пористой углеродной структуры. Сформированная иерархическая структура обеспечивает эффективный транспорт ионов и высокую реакционную способность материала. В связи с этим полученный карбонизированный материал может быть использован в качестве анодного материала для литий-ионных и натрий-ионных аккумуляторов, а также в суперконденсаторах и в качестве основы для синтеза кремний-углеродных композитов.

Заключение. В ходе проведённого исследования продемонстрирована возможность эффективной переработки сельскохозяйственных биоотходов - рисовой шелухи сорта «Лидер» - с получением карбонизированного материала, обладающего развитой пористой структурой и перспективного для применения в

энергетических системах. Установлено, что предварительная подготовка сырья (сушка и измельчение) и последующая карбонизация в температурном диапазоне 350–800 °С обеспечивают формирование углеродного каркаса с иерархической структурой.

Результаты СЭМ-анализа показали, что карбонизация приводит к разрушению исходной волокнистой структуры и формированию пористого материала с частичным сохранением природной морфологии. БЭТ-анализ подтвердил наличие развитой удельной поверхности (146.94 м²/г) и иерархической системы пор, включающей микро- и мезопоры, что обеспечивает благоприятные условия для транспорта ионов и накопления заряда. Элементный анализ показал преобладание углерода (68.36 мас.%) с присутствием кислорода и кремния, что обусловлено природным составом исходного сырья и может способствовать улучшению функциональных характеристик материала.

Показано, что параметры карбонизации и конструктивные особенности мобильной пиролизной установки оказывают существенное влияние на формирование структуры и свойств материала. Использование герметичного реактора, работающего в условиях ограниченного доступа кислорода, а также применение пиролизного газа в качестве источника энергии обеспечивают повышение энергоэффективности процесса и равномерность термической обработки. Наличие системы очистки газов позволяет снизить экологическую нагрузку.

Практическая значимость работы заключается в разработке технологического подхода, позволяющего осуществлять утилизацию биоотходов непосредственно в местах их образования с одновременным получением функциональных углеродных материалов. Полученный материал может быть использован в качестве анодного материала для литий-ионных и натрий-ионных аккумуляторов, а также в суперконденсаторах и как основа для создания кремний-углеродных композитов.

Таким образом, предложенный подход сочетает экологическую и технологическую эффективность и соответствует принципам устойчивого развития и циркулярной экономики. Перспективы дальнейших исследований связаны с оптимизацией параметров карбонизации, проведением электрохимических испытаний и разработкой композитных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

References

- Askaruly K., Idrissov N., Abdisattar A., Azat S., Kuli Z., Yeleuov M., Malchik F., Daulbayev C., Yszhan Y., Sarsembayeva B., Nysanbayeva S. (2024) Utilizing rice husk-derived Si/C composites to enhance energy capacity and cycle sustainability of lithium-ion batteries. *Diamond and Related Materials*. – No. 152. – P. 111631. DOI: 10.1016/j.diamond.2024.111631 (in Eng.).
- Gao P., Wang Y., Cui X., Zhang K., Wang L., Wang Y., Wang Q., Chen J. (2025) Facile synthesis of core-shell Si/C nanoparticles via in-situ reduction of rice husk-derived silica in molten salts as ultra-stable lithium-ion battery anode. *Journal of Energy Storage*. – No. 109. – P. 119103. DOI: 10.1016/j.est.2025.119103 (in Eng.).
- Gautam M., Mishra G.K., Furquan M., Bhawana K., Kumar D., Mitra S. (2023) Low-stress silicon and SiC anodes for lithium-ion batteries. *Chemical Engineering Journal*. – No. 476. – P. 144916. DOI: 10.1016/j.cej.2023.144916 (in Eng.).

Jorn-am T., Liang X., Song S., Chanthad C., Paoprasert P. (2024) The total use of rice husk to create highly porous silicon and sulfur-doped activated carbon for lithium-ion capacitors. *Sustainable Materials and Technologies*. – No. 42. – P. e00914. DOI: 10.1016/j.susmat.2024.e00914 (in Eng.).

Kong X., Xi Z., Jiang Y., Li S., Chen X., Zhang J., Wang L., Wan Z., Pan A. (2023) Fe-N-C decorated biomass SiOx/C composites with gradient conductive structure. *Chemical Engineering Journal*. – No. 478. – P. 147178. DOI: 10.1016/j.cej.2023.147178 (in Eng.).

Meng Z., Xu Z., Li H., Xiong H., Liu X., Qin C., Wang Z. (2025) Silicon/biomass carbon composites for lithium-ion batteries. *Energies*. – No. 18(4). – P. 972. DOI: 10.3390/en18040972 (in Eng.).

Seisenova A., Nuraly A., Baiseitov D., Kapizov O., Oryngaliyeva S., Alimkulova Z., Mutushev A. (2025) Comprehensive assessment of ash and slag waste for the synthesis of silicon-based functional materials. *Processes*. – No. 13(9). – P. 2722. DOI: 10.3390/pr13092722 (in Eng.).

Song J., Guo S., Kou L., Liu H., Kajiyoshi K., Su J., Zheng P. (2020) Nitrogen-doped carbon/SiOx composites from rice husks for lithium-ion batteries. – *SSRN Electronic Journal*. DOI: 10.2139/ssrn.3567478 (in Eng.).

Sun X., Qiao L. (2021) Synthesis and electrochemical properties of bioderived silicon particles for lithium-ion battery anodes. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. – No. 32(15). – P. 20452-20461. DOI: 10.1007/s10854-021-05683-2 (in Eng.).

Wang J., Wang Y., Jiang Q., Zhang J., Yin H., Wang Z., Gao J., Wu Z., Liang J., Zuo S. (2021) Interconnected hollow Si/C hybrids engineered by CO₂-introduced magnesiothermic reduction of biosilica from reed plants for lithium storage. *Energy & Fuels*. – No. 35(12). – P. 10124-10135. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.1c00836 (in Eng.).

Wu Y., Jiang Y., Liu W., Wen H., Dong S., Chen H., Wang L. (2022) Engineering bamboo leaves into 3D macroporous Si@C composites for lithium-ion battery anodes. *Frontiers in Chemistry*. – No. 10. – P. 882681. DOI: 10.3389/fchem.2022.882681 (in Eng.).

Yang X., Li Y., Chen W., Zhang C., Huang L., Luo X. (2024) Scalable synthesis of Si/C composites from silicon kerf waste. *Energy & Fuels*. – No. 38(6). – P. 4877-4887. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.3c05121 (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: June 22, 2026
Format: 70×90 1/16. 24.5 printed sheets. Order No. 2.

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