

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

Editorial Board:

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

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

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

ABIEV Rufat, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES.

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

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of Information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan № **KZ93VPY00121157** issued **05.06.2025**

Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

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

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрыңұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ХҒАҚ және ҚР ҰҒА академигі, Мұнай өңдеу және мұнай-химиясы ғылыми-зерттеу институтының бас директоры (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960%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 қосылыстары.....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**Сди́кова 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 әзірлеу 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), 286–301

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.452>

UDC: 666.913.4

IRSTI: 65.35.33

©Sagyntayeva A.¹, Zhanikulov N.^{1*}, Sudarev E.², Kaiyrbaeva M.¹,
Zhakipbayev B.^{3*}, 2026.

¹Academician Ye.A. Buketov Karaganda National Research University,
Karaganda, Kazakhstan;

²National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia;

³Peoples Friendship university named after Academician A. Kuatbekov,
Shymkent, Kazakhstan.

E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru

RESEARCH ON THE QUALITY OF RAW MATERIALS FOR OBTAINING OF GYPSUM-CEMENT-POZZOLANO COMPOSITE MATERIAL

Sagyntayeva Akmarzhan — PhD student, Academician Ye.A. Buketov Karaganda National Research University, Karaganda, Kazakhstan,

E-mail: akmarzhan_97_31@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3275-4144>;

Zhanikulov Nurgali — PhD, Associate Professor, Academician Ye.A. Buketov Karaganda National Research University, Karaganda, Kazakhstan,

E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0750-9753>;

Sudarev Evgeniy — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, N.M. Kizhner Research and Educational Center; National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia,

E-mail: sudarev@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5596-4048>;

Kaiyrbaeva Marzhan — Master, Senior Teacher, Academician Ye.A. Buketov Karaganda National Research University, Karaganda, Kazakhstan,

E-mail: m_kaiyrbaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1964-9582>;

Zhakipbayev Bibol — PhD, Associate Professor, Chief Researcher, Peoples' Friendship University named after Academician A. Kuatbekov, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: bibol.ye.zhakipbayev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0750-9753>.

Abstract. This scientific article presents the results of physicochemical methods used to study the suitability of gypsum, Portland cement, slag, and ash for obtaining gypsum-cement-pozzolanic composite materials. The quality of the raw materials was tested using state of the art equipment. The relevance of producing gypsum-cement-pozzolanic (GCP) composite materials is directly related to the high cost of Portland cement and the increasing amount of CO₂ emitted into the atmosphere, as well as the need to produce environmentally friendly products based on the principle of a "green economy". The study found that the gypsum composition consists of 29,89% CaO and 38,11% SO₃. At a temperature of 120-180°C, the transition of dihydrate gypsum to

hemihydrate gypsum and then to anhydride was recorded, with a total mass loss of 15-16%. The microstructure is polycrystalline, which fully confirms the stoichiometric value of calcium sulfate. The cement composition consists of 60,87% CaO, 20,48% SiO₂, and 5,88% Al₂O₃. Dehydration of the portlandite mineral Ca(OH)₂ was determined in the temperature range of 420-580°C with a total mass loss of 2-3,5%. The cement microstructure was determined as consisting of predominantly C₃S and C₂S minerals, with an intermediate phase consisting of C₃A+C₄AF minerals. The opoka composition consists of 75,31% SiO₂, 1,24% CaO and 9,24% Al₂O₃. In the temperature range of 400-520°C, a loss of water molecules in clay minerals was determined with a total mass loss of 10-11%. The microstructure fully confirms the presence of highly porous amorphous silica aggregates. The ash composition consists of 58,98% SiO₂, 4,05% Fe₂O₃, and 30,05% Al₂O₃. Carbon combustion and decarbonization were determined in the temperature range of 380-640°C, with a total mass loss of 4,5-5,5%. Particles of unburned carbon impurities with a glassy microstructure were detected. The results of the physicochemical study demonstrated the feasibility of producing a gypsum-cement-pozzolan composite material from a mixture of gypsum, cement, slag, and ash.

Keywords: gypsum, portland cement, opoka, ash, pozzolan additives, composite materials, gypsum-cement-pozzolan mixtures

For citations: Sagyntayeva A., Zhanikulov N., Sudarev E., Kaiyrbaeva M., Zhakipbayev B. Research on the Quality of Raw Materials for Obtaining Gypsum-Cement-Pozzolan Composite Material. Academic Journal of Physical and Chemical Sciences. 2026. No.2. Pp. 286–301. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.452>

©Сағынтаева А.¹, Жаникулов Н.^{1*}, Сударев Е.², Қайырбаева М.¹,
Жакипбаев Б.^{3*}, 2026.

¹Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті,
Қарағанды, Қазақстан;

²Ұлттық зерттеу Томск политехникалық университеті, Томск, Ресей;

³Академик Ә. Қуатбеков атындағы Халықтар достығы университеті,
Шымкент, Қазақстан.

E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru

ГИПС-ЦЕМЕНТ-ПУЦЦОЛАНДЫ КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛ АЛУ ҮШІН ҚАЖЕТТІ ШИКІЗАТТАРДЫҢ САПАСЫН ЗЕРТТЕУ

Сағынтаева Ақмаржан — PhD докторант, Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қарағанды, Қазақстан,

E-mail: akmarzhan_97_31@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3275-4144>;

Жаникулов Нурғали — PhD, қауымдастырылған профессор, Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қарағанды, Қазақстан,

E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0750-9753>;

Сударев Евгений — техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Н.М. Кижнер атындағы ғылыми-оқыту орталығы; Томск политехникалық университеті, Томск, Ресей,

E-mail: sudarev@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5596-4048>;

Кайырбаева Маржан — магистр, аға оқытушы, Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қарағанды, Қазақстан,

E-mail: m_kaiyrbaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1964-9582>;

Жакипбаев Бибол — PhD, қауымдастырылған профессор, бас ғылыми қызметкер, Академик Ә. Қуатбеков атындағы Халықтар достығы университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: bibol.ye.zhakupbayev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0750-9753>.

Аннотация. Ғылыми мақалада гипс-цемент-пуццоланды композициялық материал алу үшін гипс, портландцемент, опока және күл материалдардың жарамдылығын физика-химиялық әдістермен зерттеудің нәтижелері келтірілген. Шикізаттардың сапасын анықтау жұмыстары заманауи құрал-жабдықтардың көмегімен тексерілді. Гипс-цемент-пуццоланды (ГЦП) композициялық материалдарды алудың өзектілігі портландцемент бағасының қымбат және атмосфераға шығаратын CO_2 газының мөлшерінің артуымен, «жасыл экономика» принципі бойынша экологиялық таза өнім алумен тікелей байланысты. Зерттеу нәтижесінде гипстің құрамы 29,89% CaO және 38,11% SO_3 тұратындығы анықталды. 120-180°C температура аралығында эндотермиялық әсерде екі сулы гипстің жарты сулы гипске, сосын ангидридке өтуі, жалпы 15-16% масса жоғалуы тіркелді. Микроқұрылымы поликристалды болып келген, кальций сульфатының стехиометриялық мәнін толықтай дәлелдейді. Цементтің құрамы 60,87% CaO , 20,48% SiO_2 және 5,88% Al_2O_3 тұратындығы анықталды. 420-580°C температура аралығында портландит минералының $\text{Ca}(\text{OH})_2$ сусыздануы анықталды, жалпы 2-3,5% масса жоғалуы тіркелді. Цемент микроқұрылымында C_3S және C_2S минералдарының басымдығы және аралық фаза $\text{C}_3\text{A}+\text{C}_4\text{AF}$ тұратындығы анықталды. Опоканың құрамы 75,31% SiO_2 , 1,24% CaO және 9,24% Al_2O_3 тұратындығы анықталды. 400-520°C температура аралығында сазды минералдардың құрамындағы су молекулаларының жоғалуы анықталды, жалпы 10-11% масса жоғалуы тіркелді. Микроқұрылымы жоғары кеуекті болып келген, аморфты кремний диоксидінің агрегаттарын толықтай дәлелдейді. Күлдің құрамы 58,98% SiO_2 , 4,05% Fe_2O_3 және 30,05% Al_2O_3 тұратындығы анықталды. 380-640°C температура аралығында көміртектің жану мен декарбонизациялану процесінің жүруі анықталды, жалпы 4,5-5,5% масса жоғалуы тіркелді. Микроқұрылымы шыны тәрізді болып келген, жанбаған көміртек қоспаларының бөлшектері анықталды. Жүргізілген физика-химиялық зерттеу нәтижесінде гипс, цемент, опока және күл қосындысынан гипс-цемент-пуццоланды композициялық материал алуға толықтай мүмкіндік бар екендігі дәлелденді.

Түйін сөздер: гипс, портландцемент, опока, күл, пуццоланды қоспалар, композициялық материалдар, гипс-цемент-пуццолан қоспалары

©Сагынтаева А.¹, Жаникулов Н.^{1*}, Сударев Е.², Кайырбаева М.¹,
Жакипбаев Б.^{3*}, 2026.

¹Карагандинский национальный исследовательский университет имени
академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан;

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск, Россия;

³Университет дружбы народов имени академика А. Куатбекова,
Шымкент, Казахстан.

E-mail:nurgali.zhanikulov@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГИПСО- ЦЕМЕНТО-ПУЦЦОЛАНОВОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Сагынтаева Акмаржан — PhD докторант, Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,

E-mail: akmarzhan_97_31@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3275-4144>;

Жаникулов Нургали — PhD, ассоциированный профессор, Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,

E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0750-9753>;

Сударев Евгений — кандидат технических наук, доцент, Научно-образовательный центр имени Н.М. Кижнера; Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия,

E-mail: sudarev@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5596-4048>;

Кайырбаева Маржан — магистр, старший преподаватель, Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,

E-mail: m_kaiyrbaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1964-9582>;

Жакипбаев Бибол — PhD, ассоциированный профессор, главный научный сотрудник, Университет дружбы народов имени академика А. Куатбекова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: bibol.ye.zhakipbayev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0750-9753>.

Аннотация. Разработка гипсо-цементно-пуццолановых композиционных материалов является перспективным направлением строительного материаловедения, обусловленным необходимостью снижения расхода портландцемента, сокращения выбросов углекислого газа и расширения использования природного и техногенного минерального сырья в соответствии с принципами «зелёной экономики». В связи с этим особую актуальность приобретает оценка качества исходных компонентов и их пригодности для получения композиционных вяжущих. В работе представлены результаты комплексного физико-химического исследования гипса, портландцемента, опоки и золы, предназначенных для получения гипсо-цементно-пуццолановых композиционных материалов. Анализ сырья проводился с использованием современных методов, позволяющих определить химический состав, термические характеристики и особенности микроструктуры исследуемых компонентов. Установлено, что гипс содержит 29,89 % CaO и 38,11 % SO₃, а в температурном диапазоне 120–180 °C происходит последовательное превращение дигидрата гипса в полугидрат и ангидрит с общей потерей массы 15–16 %. Для портландцемента

выявлено преобладание оксидов CaO (60,87 %), SiO₂ (20,48 %) и Al₂O₃ (5,88 %), а также наличие основных минералов C₃S и C₂S. Опока характеризуется высоким содержанием SiO₂ (75,31 %) и наличием высокопористых аморфных кремнезёмных агрегатов. В составе золы установлено содержание 58,98 % SiO₂, 30,05 % Al₂O₃ и 4,05 % Fe₂O₃, а также присутствие стекловидных частиц и несгоревших углеродных включений. Результаты физико-химического анализа подтвердили возможность использования исследуемых компонентов для получения гипсо-цементно-пуццолановых композиционных материалов. Использование смесей на основе гипса, портландцемента, опоки и золы позволяет получать экологически безопасные композиционные вяжущие с пониженным содержанием клинкера и способствует рациональному использованию природного сырья и промышленных отходов.

Ключевые слова: гипс, портландцемент, опока, зола, пуццолановые добавки, композиционные материалы, гипсо-цементно-пуццолановые смеси

Kіріспе. 2025 жылы Қазақстан Республикасында жұмыс жасайтын цемент зауыттар 14,378 млн тонна цемент, 8,791 млн тонна клинкер өндіріді. Бұл 2024 жылғы көрсеткішке қарағанда 17,2 % және 3,2 % жоғары (Production, 2026). Алайда, барлық цемент зауыттары клинкер кұйдіру кезінде бөлінетін CO₂ газының шығару деңгейін төмендету мақсатында, әр цемент зауытқа бөлінген квоталарды қатаң сақтау үшін қоспасы бар портландцемент пен композициялық цемент түрлерінің өндірісін арттырғаны белгілі болды (Amiraliyev et al., 2025).

Қазіргі таңда әлемдік цемент өндірісінің көлемі жылына 3,3 млрд тонна цементті құрап, рекордтың деңгейге жетсе, гипс өндірісінің көлемі 147 млн тоннаға жетті, бұл тұтастырғыш материалдардың ең үлкен сегментін құрап отыр (Cement, 2024).

Әлемде тиімді технологиялық, экологиялық таза композициялық материалдардың құрамын әзірлеу ерекше маңызға ие. Осындай перспективалы бағыттардың бірі – гипс, цемент және белсенді минералды қоспалардың артықшылықтарымен біріктірілген гипс-цемент-пуццоланды (ГЦП) композициялық материалдарды айтуға болады (Bumanis et al., 2020). Гипс-цемент-пуццоланды (ГЦП) композициялық материалдар аралас композиттер болғандықтан олардың әлемдік өндіріс нарығы портландцементке қарағанда әлде қайда төмен. Алайда әлемдік сарапшылардың болжамынша цемент пен гипсті тұтастырғыш материалдардың жалпы көлемінің 1-5 % құрайды делінген, бұл шамамен 30-150 млн тоннаға бағаланады (Sahmenko et al., 2024).

Қазіргі заманғы бейорганикалық материалдар мен тұтастырғыш заттардың дамуын арттыруда жаңа ГЦП композициялық материалдардың құрамын әзірлеу келесідей өзектілікпен расталады:

Біріншіден, құрылыс материалдардың қымбат бағасын төмендету қажеттілігінен туындайды. Гипс-цемент-пуццоланды композициялық материалдарды пайдалану, қымбат және экологияға зияны басымырақ портландцементті ішінара алмастыруға мүмкіндік береді.

Екіншіден, бұл композициялық материал «жасыл экономика» принципі бойынша экологиялық таза құрылыс талаптарына сай келеді. Минералды ресурстарды: пуццоландар, күл және шлактарды пайдалану арқылы қоршаған ортаға әсерді азайтуға мүмкіндік береді.

Үшіншіден, бұл жаңа инновациялық композициялық материалды алудың дамуына және портландцементке балама материалдың пайда болуына мүмкіндік береді.

Бұл зерттеудің ғылыми жаңалығы алғаш рет гипс-цемент-пуццолан композициялық материал алу үшін отандық шикізат материалдардың жарамдылығын физика-химиялық әдістермен зерттеу болып табылады.

Әдеби шолу. Портландцемент өндірісі карбонатты шикізатты декарбонизациялау нәтижесінде, клинкерді күйдіру процесінде отынды жағу кезінде қалыптасатын көміртек диоксидінің (CO_2) елеулі шығарындыларымен қатар жүреді. Орташа алғанда 1 т цемент клинкерінің өндірісі үшін атмосфераға шамамен 0,7-0,9 т CO_2 газы бөлінеді. Бұл цемент өндіріс саланың жиынтық үлесі жаһандық антропогендік шығарындылардың 7-8 % құрайды. Бұл клинкерлік құрамдас бөлігі төмен баламалы тұтқыр жүйелерді әзірлеу қажеттілігін негіздейді. Көміртегі ізін төмендетудің тиімді жолдарының бірі цементті гипс-цемент-пуццоланды композиттерінің құрамында пуццолан қоспаларымен ішінара ауыстыру болып табылады. Тұтастырғыш салмағының 20-50 % мөлшерінде пуццолан компоненттерін енгізу цемент шығынын және CO_2 шығарындыларын төмендетуге мүмкіндік береді. Бұл ретте пуццолан реакциялары кальций гидросиликаттарының (C-S-H фазалары) қосымша пайда болуына ықпал етеді, бұл материалдың құрылымы мен беріктік сипаттамаларына оң әсер етеді (Potapova, 2016).

Жалпы портландцемент құрамында 5-7 % гипс болады, бұл цементтің ұстасу мерзімін реттеу үшін өндіріледі. Портландцементтің қатаю кезінде этрингит минераланың көп мөлшерде түзілуі салдарынан цемент тасының жарылуына мүмкіндік туғызады. Сол себепті цемент тасының құрамындағы этрингит минералын кристалдануы қатаң бақыланады (Calderon-Morales et al., 2021). Бұл процессті болдырмау үшін қоспаға пуццолан материалдарын ендіру нәтижесінде гипс-цемент-пуццолан деп аталатын үштік композициялық материал пайда болады (Colak, 2021). Гипс-цемент-пуццолан композициялық материалдың портландцемент және гипс тұтастырғыштан айырмашылығы оның суға төзімділігі мен жоғары механикалық беріктікке ие. Сонымен қатар, гипс-цемент-пуццоланды (ГЦП) композициялық материалдардың құрамында 50 %-дан жоғары гипстен тұратындықтан қоршаған ортаға зиянсыздығы әлдеқайда төмен (Bumanis et al., 2020). Гипс-цемент-пуццолан үштік композициялық материал алу үшін құрамына әртүрлі өнеркәсіптік қалдықтар мен қайта өңделген гипстерді, жасанды қосалқы өнімдер мен минералды пайдалануға мүмкіндік береді (Bumanis et al., 2022).

Галаутдинов А.Р. және басқа ғалымдар гипс-цемент-пуццоланды тұтастырғыш материалдардың құрамын әзірлеу және оның қатаю ерекшеліктері бойынша зерттеулер жүргізген. Қатаю процесінің жоғары беріктікке жеткізу үшін

жоғары сапалы гипс және портландцемент пен белсенді минералды қоспаларды пайдаланған. Негізгі зерттеу нәтижесінде гипс-цемент-пуццолан қатайған тастың гидратациясы мен құрылым түзілу процестеріне, оның беріктік шегіне және суға төзімділігіне, сондай-ақ қоспаның су қажеттілігіне минералды және химиялық қоспалар кешенінің әсерін анықтаған (Galautdinov et al., 2019).

Осылайша, ғылыми әдебиеттерді талдау нәтижесінде гипс-цемент-пуццолан композициялық материалдарын алу бейорганикалық материалдар ғылымында перспективалы бағыт екенін көрсетеді. Оларды әзірлеу жүйеде жүретін физика-химиялық процестерді тереңірек түсінумен, тұрақты және жоғары тиімді композиттерді жасауға бағытталған. Біз көздеп отырған гипс, цемент, опока және күл қосындысынан алынатын ГЦП композициялық материалы ешқандай ғылыми деректерде толық қарастырылмаған және қолданысқа енгізілмеген, толық зерттелмеген.

Материалдар мен зерттеу әдістері. Біздің ғылыми зерттеу жұмыстар Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университетінің «Композициялық материалдар зертханасында» орындалды. ГЦП композициялық материал алу үшін бастапқы шикізат ретінде Қарағанды облысы Ақтау кентінде орналасқан «Central Asia cement» зауытының ЦЕМ I/ 42.5 Б маркалы портландцементі, Түркістан облысы Оранғай кен орынының опокасы, Қарағанды қаласы ЖЭО-3 күл қалдығы және табиғи екі сулы гипс қолданылды. Олардың құрамын, құрылымын және қасиеттерін кешенді зерттеу үшін талдаудың бірқатар заманауи физика-химиялық әдістері қолданылды.

Гипс, цемент, опока және күлді кешенді зерттеу үшін шикізаттардың химиялық құрамын, фазалық құрылымын және термиялық қасиеттерін бағалауды қамтамасыз ететін төрт талдамалық әдіс қолданылды.

Компоненттердің элементтік және оксидтік құрамы Bruker компаниясының жоғары өнімді толқынды-дисперсиялық рентгенофлуоресцентті спектрометрі көмегімен анықталды (Declercq et al., 2019). Онда ұнтақ үлгілері стандартты планшеттерге орналастырылды, ал элементтердің сипатты рентгендік сәулеленуі бойынша химиялық қосылыстарды сандық және сапалық бағалау орындалды. Бастапқы шикізаттардың элементтік және оксидтік құрамы рентгендік флуоресценттік спектрометрде айқындалды. Гипс шикізаты үшін бұл әдіс кальций және күкірт тотықтарының құрамын анықтай отырып, катаю процестеріне әсер ететін ықтимал қоспа компоненттерін анықтауды қамтамасыз етті. Цемент жағдайында рентгендік флуоресценттік спектрометр оның гидравликалық белсенділігін анықтайтын CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 т.б. сияқты негізгі оксидтерді сандық бағалау үшін пайдаланылды. Опокаға талдау шикізат құрамында кремнеземнің жоғары құрамының барлығын дәлелдеу үшін әрі қабілетті пуццоландық белсенділігін бағалауға мүмкіндік берді. Оның көмегімен реакцияға түсуге және құрылымның қалыптасуына ықпал етуге қабілетті фазалардың маңыздылығы бағаланды. Яғни, рентгендік флуоресценттік спектрометр көмегімен компоненттердің химиялық құрамын және олардың композициялық материал құрамында негіздеуді қамтамасыз етті.

Қыздыру кезіндегі массаның термиялық қасиеттері мен өзгерістері Labsys Evo 1600 TG/DSC (Myrzakozha et al., 2014) термогравиметриялық талдағышын қолдана отырып зерттелді. Онда үлгілер тигельдерге орналастырылды және бақыланатын жылдамдықпен қыздырылды, бұл гидраттардың дегидратация, ыдырау сатыларын, материалдардың термиялық тұрақтылығы мен реакциялық белсенділігін анықтауға мүмкіндік берді. Термогравиметриялық талдау термиялық өзгерістерді және қыздыру кезінде материалдардың массасын өзгерту үшін қолданылды. Гипс үшін бұл әдіс гипстің ангидритке өту процестерін көрсететін кристалданған суды жоғалтуды қоса алғанда $(\text{CaSO}_4)^*$ дегидратациялаудың негізгі кезеңдерін анықтауға мүмкіндік берді. Цементті зерттеуде бұл әдіс гидратты қосылыстардың ыдырау процестерін анықтады. Қыздыру арқылы шикізат массасының өзгеруі бойынша гидратация дәрежесін бағалауға мүмкіндік берді. Опока жоғары термиялық тұрақтылығын және қарастырылып отырған температуралық диапазонда маңызды фазалық өзгерістердің жоқтығын дәлелдейді. Күл үшін термогравиметриялық талдау қалдық көміртегіні анықтауға және оның қыздыру процессіне реакциялық белсенділігін тұспалдауға мүмкіндік берді. Термогравиметриялық талдауды қолдану термиялық әсер ету кезінде кездесетін процестерді және олардың композициялық материалдардың қасиеттеріне әсерін жан-жақты түсінуге мүмкіндік берді.

Материалдардың фазалық құрылымы JEOL JSM-6610LV (Makarov et al., 2011) растрлық сканерлейтін электрондық микроскопында зерттелді. Шикізаттар төсеніштерге бекітіліп, жұқа өткізгіш қабатпен қапталған және бөлшектердің пішіні мен өлшемін, кеуектілігі мен гидратты ісік ерекшеліктерін анықтау үшін электрондық сканерленді. Растрлық электрондық микроскопта алынған шикізаттардың микроқұрылымы мен морфологиясына зерттеу жүргізілді. Гипсті зерттеу оның кристалды құрылымының ерекшеліктерін және құрылымның қалыптасу процестеріне әсер ететін бөлшектердің нысанын анықтауға мүмкіндік берді. Цемент үшін жасалынған зерттеу бөлшектердің өлшемі және пішінін анықтау үшін, әрі сумен әрекеттесу процессі кезінде пайда болатын жаңа құрылымдарды бақылауға мүмкіндік берді. Опокаға жасалған талдау кеуекті құрылымның бар екендігін анықтайды. Ол байланыс кеңістігін ұлғайтуға және басқа компоненттермен өзара әрекеттесу процестерінде оның белсенділігін арттыруға ықпал етеді. Күл үшін жасалынған талдау композиттік құрылымын қалыптастыруға белсенді қатысатын, әрі оның беріктігіне әсер ететін компоненттерді анықтауға мүмкіндік берді. Қысқаша айтқанда, растрлық электрондық микроскопта бастапқы шикізаттардың құрамын анықтауға және олардың композициялық материалды алу процестеріне қатысуын бағалауға мүмкіндік берді.

Нәтижелер және талқылаулар. ГЦП композициялық материалды алу үшін бастапқы шикізаттардың химиялық құрамын анықтау Heidelberg Cement тобының құрамына кіретін ЖШС «Шымкентцемент» зауытында орналасқан зауанауи Bruker компаниясының жоғары өнімді толқынды-дисперсиялық рентген флуоресцентті спектрометрі көмегімен анықталды. Бастапқы шикізат материалдардың химиялық құрамы 1 - кестеде көрсетілген.

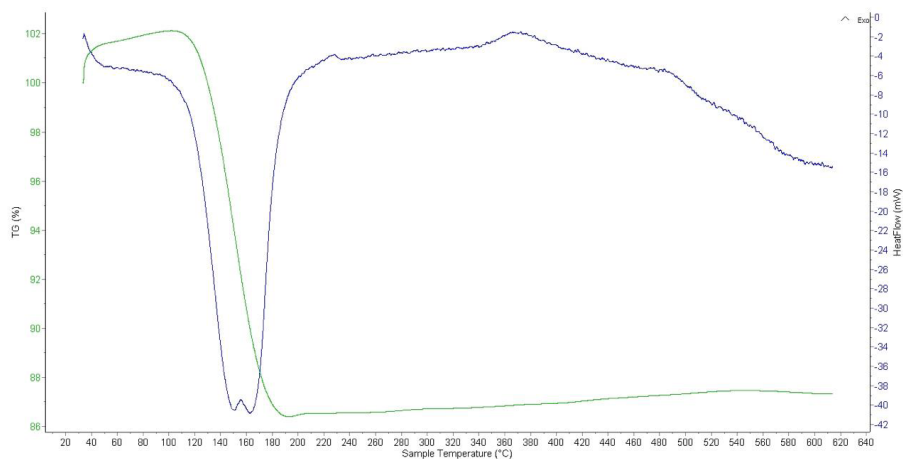
Кесте 1. Шикізат материалдардың химиялық құрамы.

Шикізат	Химиялық құрамы, сал. %													
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	Mn ₃ O ₄	ККЖ	баска	жалпы
Гипс	4,64	1,29	0,44	29,89	0,92	38,11	0,10	0,37	0,03	0,22	0,02	23,75	0,22	100
Цемент	20,48	5,88	3,77	60,87	1,74	2,58	0,41	0,84	0,07	0,58	0,28	2,45	0,05	100
Опока	75,31	9,24	2,91	1,24	1,41	2,25	0,81	0,91	0,12	0,35	0,05	4,68	0,72	100
Күл	58,98	30,05	4,05	2,08	0,59	0,12	0,48	0,57	0,37	1,39	0,11	0,97	0,24	100

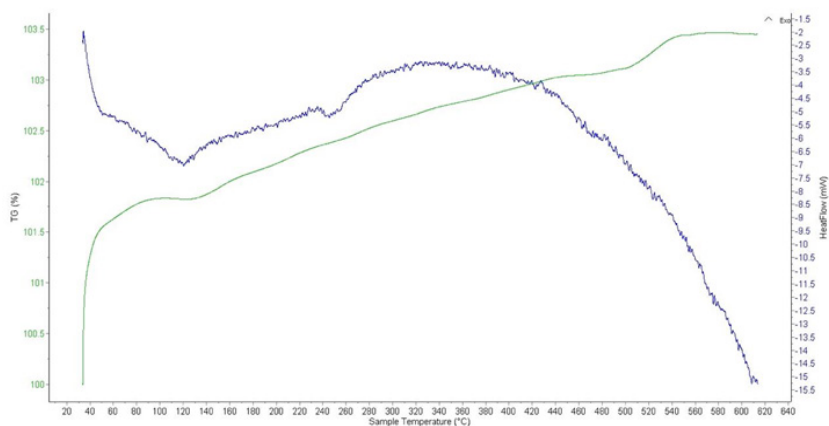
* ККЖ – күйдіру кезіндегі жоғалу

Рентген флуоресцентті спектрометрде алынған нәтижелерде, табиғи екі сулы гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) тасының химиялық құрамында 29,89 % кальций оксидінен, 38,11 % күкірт оксидінен және 20 % астам кристаллизацияланған судан тұратындығы анықталды. ЦЕМ I/ 42.5 Б маркалы портландцементтің химиялық құрамында 60,87 % кальций оксидінен, 20,48 % кремний оксидінен және 5,8 % астам алюминий оксидінен тұратындығы анықталды. Опоканың химиялық құрамында 75,31 % кремний оксидінен, 9,24 % алюминий оксидінен және 4,6 % астам күйдіру кезіндегі жоғалудан тұратындығы анықталды. Қарағанды қаласы ЖЭО-3 күл қалдығының химиялық құрамында 58,98 % кремний оксидінен, 30,05 % алюминий оксидінен және 4,0 % астам темір оксидінен тұратындығы анықталды. Нәтижесінде шикізаттардың химиялық құрамы негізгі басым бөлігі (SiO_2 , CaO, Al_2O_3 және SO_3) оксидтерден құралғаны және ауыр металдардың мөлшері шамадан артық емес екендігі, сондай-ақ, зиянды қоспа бөлшектердің кездеспейтіндігі анықталды.

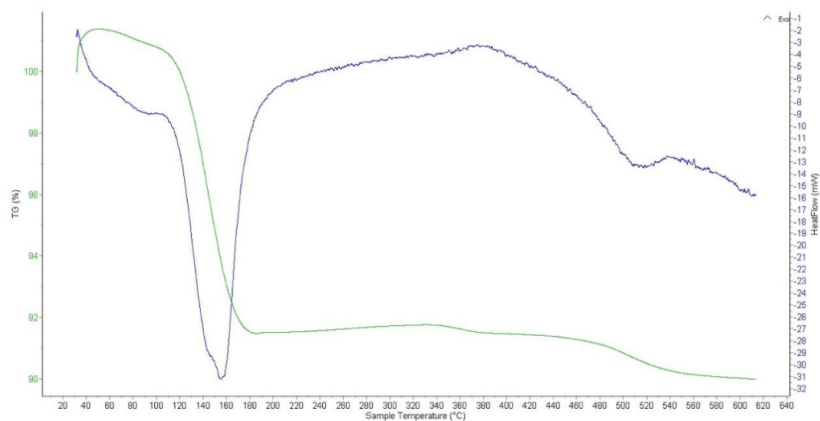
Термогравиметриялық талдау Академик Е.А. Бөкетов атындағы ҚарҰЗУ-нің «Akylbayev Research Center» орналасқан зауанауи Labsys Evo 1600 TG/DSC термогравиметриялық талдағышын қолдана отырып зерттелді. Термогравиметриялық талдау нәтижелерінің графигі 1 суретте көрсетілген.



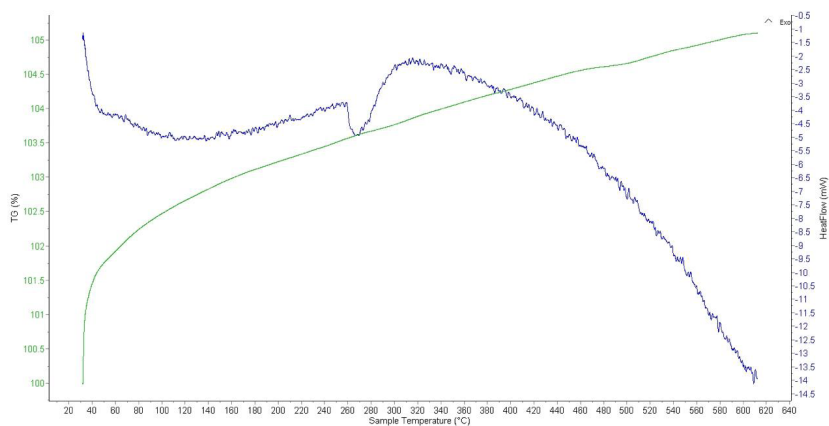
(a)



(а)



(ә)



(б)

Сурет 1. Қыздыру кезіндегі шикізат массалары мен жылу эффектісінің өзгеру графигі (TGA/ DSC): а) гипс; ә) цемент; б) опока; в) күл.

Термогравиметриялық талдау (ТГА) кезінде үлгі салмағының өзгеруін тіркеу арқылы материалдардың термиялық тұрақтылығы мен фазалық өзгерістерін бағалауға мүмкіндік береді. Гипстің термогравиметриялық және дифференциалды жылу талдауында гипстің ыдырауы сатылы сипатта екенін және бірізді дегидратациядан туындағанын көрсетті. Қыздырудың басталуы 20-100 °C температурада орын алды. Термогравиметрлік қисық сызығында үлгі массасы шамамен 15,5 % төмендеуі 120-180 °C температуралар аралығында едәуір салмақ жоғалтқандығын көрсетеді. Бұл процесс жылу ағынының қисығында айқын эндотермиялық әсерді көрсетеді. Массаның жоғалуы екі сулы гипстің ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) дегидратациясына байланысты, ол кристалданған суды бірізді жоғалтады. Алдымен жартылай сулы гипске ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), содан кейін ангидритке (CaSO_4) ауысады. 200 °C-тан кейін масса іс жүзінде 640 °C-ге дейін тұрақты болып, бұл пайда болған ангидриттің термиялық тұрақтылығын көрсетеді. Таза гипс үшін (20,9 %) бақыланатын массаның жоғалуы теориялықтан біршама төмен. Бұл бастапқы сынамада қоспалардың немесе ішінара сусыздандырылған материалдың болуы мүмкіндігімен түсіндіріледі. Гипс кристалданған судың жоғары үлесімен табиғи немесе техникалық қос сулы гипстің классикалық мінез-құлқын көрсетеді. 170 °C жоғары қызған кезде тұрақты ангидрит пайда болады. 400-600 °C температурада шағын төмендеу сазды минерал құрамындағы су молекулаларының ыдырауын көрсетеді.

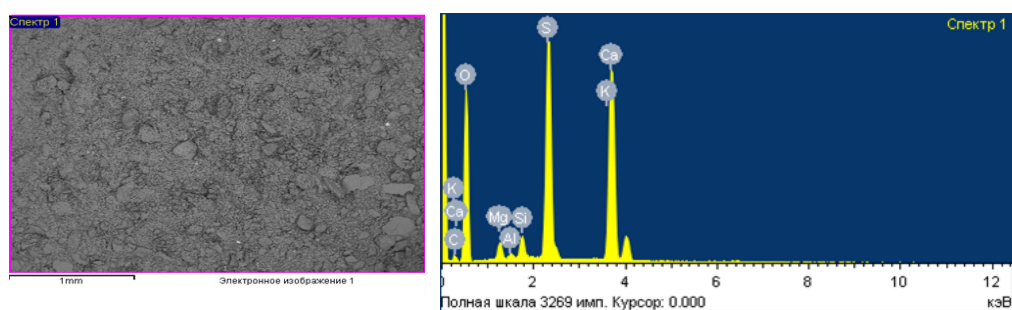
Цементтің термогравиметриялық және дифференциалды жылу талдауында ЦЕМ I/42.5 Б маркалы портландцементтің 20-120 °C температуралар аралығында 0,8-1,0 % жуық массаның жоғалуы бос (адсорбцияланған) ылғалдың, өте әлсіз байланысқан судың ұшуын көрсетеді. 120-200 °C температуралар аралығында эттрингит минералдың ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) және белгілі бір дәрежеде гипстің сусыздануы жүреді. Эттрингит кристалдану суының көп бөлігін осы диапазонда жоғалтады. 200-400 °C температуралар аралығында моносольфоалюминаттың сусыздануы және төмен негізді кальций гидросиликаттарының (C-S-H) ішінара ыдырауы жүрді. 420-580 °C аралығындағы қарқынды масса жоғалту портландит минералының дегидратациясын көрсетеді. 600 °C-тан жоғары температураның одан әрі төмендеуі кальциттің декарбонизациялануын көрсетті.

Опоканың термогравиметриялық және дифференциалды жылу талдауында 20-120 °C температуралар аралығында бастапқы массаның жоғалуы адсорбцияланған судың жоғалуымен түсіндіріледі. 120-180 °C температурада күрт төмендеу опоканың сусыздануын, сазды минералдардың құрамындағы су молекулаларының жоғалуын көрсетеді. 180-400 °C температуралар аралығында масса жоғалу минималданады, органикалық заттардың жануы басталады. 400-520 °C аралығында сазды минерал гидрослюданың құрылымдық сусыздануы және ішінара кальцит қоспаларының декарбонизацияға ұшырауын көрсетеді. 520-640 °C аралығында кремний оксидінің соңғы сусыздануы орын алды. Жалпы 640 °C дейін 10,5-11,5 % масса жоғалту орын алды.

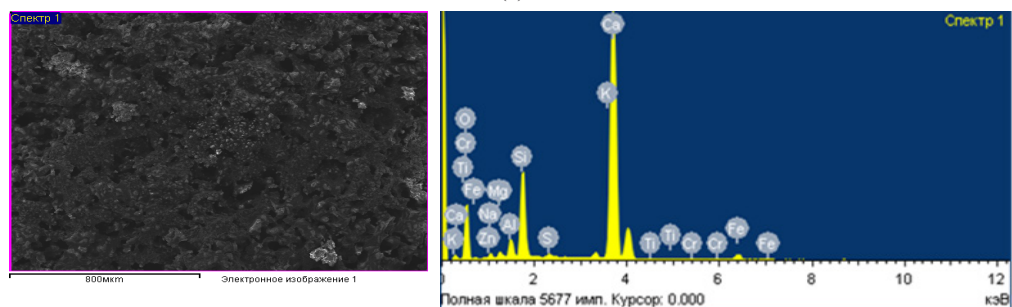
Күлдің термогравиметриялық және дифференциалды жылу талдауында 20-150 °C температуралар аралығында бастапқы массаның жоғалуы шамамен 1,2-

1,5 % құрайды, мұнда адсорбцияланған ылғалдың жоғалауы тіркелді. 150-280 °C температурада тұрақтылық тіркелді, ал 280-380 °C аралығында экзотермиялық әсердің, яғни күл құрамында жанбай қалған көміртектің тотығуымен түсіндіріледі. 280-640 °C аралығында негізгі массаның жоғалуы 4,5 % құрады. Мұнда негізгі процес күлдің құрамындағы сазды және карбонатты фазалардан судың жоғалуы орын алды.

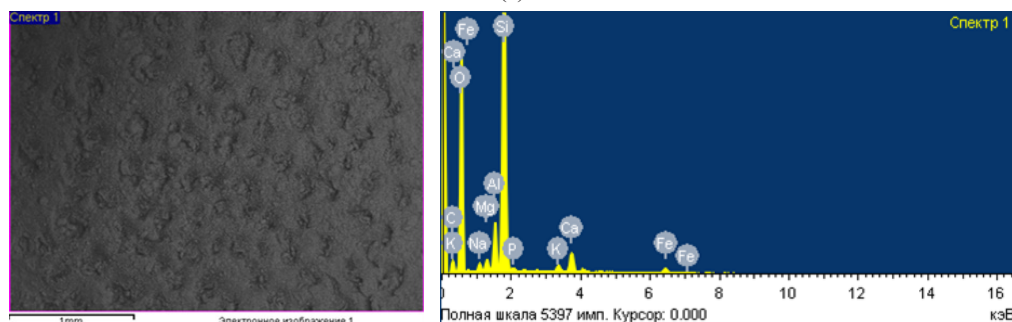
Электронды микроскопиялық талдау М. Әуезов атындағы ОҚЗУ-нің «Құрылымдық және биохимиялық материалдар аймақтық инженерлік сынақ зертханасында» орналасқан зауанауи JEOL JSM-6610LV растрлық сканерлейтін микроскопын қолдана отырып зерттелді. Электронды микроскопиялық талдау нәтижелері 2 - суретте көрсетілген.



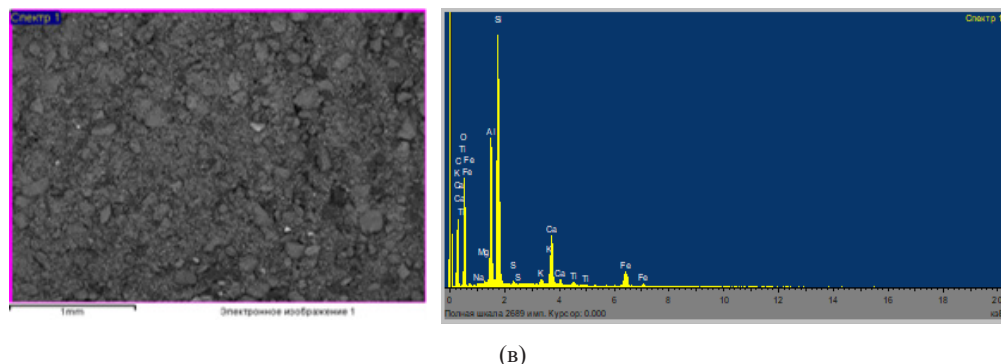
(a)



(a)



(6)



Сурет 2. Микроқұрылым және рентгендік спектрограмма: а) гипс; ә) цемент; б) опока; в) құл.

Расторлы электронды микроскопиялық талдау нәтижесінде, гипс дигидратның поликристалды агрегаты бейнелеген. Суретте гипс микроқұрылымы ірі түйіршікті тәрізді, өлшемі 50-ден 500 мкм-ге дейінгі дұрыс емес пішінде көрсетілген. Түйіршік беті тегіс емес және кедір-бұдыр, жарықты ұсақталған табиғи гипс жынысына тән көрініс анықталды. Гипс микроқұрылымында жасанды түрде өсірілген немесе қайта кристалданған гипске тән айқын ине тәрізді немесе ламельді морфология кездескен жоқ. Энергия дисперсиялық рентгендік спектроскопия нәтижесінде негізгі элемент күкірттің (S) шың қарқындылығы жоғары, кальций (Ca) және оттегі (O) шындары жоғары және сульфат формаларына сәйкес келеді. Бұл кальций сульфатының стехиометриялық мәніне толықтай дәлелдейді. Si, Al, K және Mg аз мөлшерде болуы табиғи гипс құрамында саз қоспаларының бар екендігін көрсетеді.

Микроскопиялық талдауда портландцемент ұнтағының гидратталмаған күйі бейнелеген. Суретте цемент микроқұрылымы ұсақ дисперсті және бөлшектердің пішіні гетеогенді сипатта, өлшемі 5-10 мкм аз және орташа өлшемі 10-40 мкм аралығында көрсетілген. Түйіршік беті тегіс емес, қараңғы фонда айтарлықтай анық емес фазалар көрінісі анықталды. Цемент микроқұрылымында үш кальцийлі силикат және екі кальцийлі силикат минералдарының басымдығы және аралық фаза үш кальцийлі алюминат және ауыр фаза төрт кальцийлі алюмофериттен тұратындығы анықталды. Энергия дисперсиялық рентгендік спектроскопия нәтижесінде негізгі элемент Ca – цемент минералдарының негізгі катионы және Si – силикат фазаларының маңызды элементі анықталған. Бұл кальций силикаттарының басым екендігін растайды. Al және Fe болуы алюминат (C_3A) және феррит (C_4AF) фазаларының бар екенін көрсетеді. Кішкентай күкірт шыңы (S) ұстасу мерзімін реттеуші гипс дигидратын ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) көрсетеді.

Микроскопиялық талдауда опока минералының жоғары кеуікті және күрделі беттік құрылым бейнелеген. Суретте опока микроқұрылымы жүздеген мкм дейінгі біркелкі емес тесіктер мен қуыстар көрінеді, 100 мкм кіші бөлшектер аморфты кремний диоксидінің агрегаттары көрсетілген. Энергия дисперсиялық рентгендік спектроскопия нәтижесінде опоканың кремнийлі табиғатын толық растайды. Кремний мен оттегінің жоғары мөлшері аморфты кремнийдің басым

екенін көрсетеді. Са, Al, Fe, Mg және К болуы табиғи опокаға тән және саз минералдарының (каолинит, монтмориллонит), карбонат қоспаларының және темір қосылыстарының бар екенін көрсетеді (Jurkowska et al., 2022).

Микроскопиялық талдауда күлдің жоғары дисперстілігімен бейнеленген. Суретте 5 мкм-ден 100-150 мкм-ге дейінгі өлшемдегі бөлшектердің, шыны тәрізді микроқұрылымы көрсетілген. Бұл жоғары температурада күйдірілген және жылдам салқындағанды көрсетеді. Кейбір ірі бөлшектер кеуекті болуы жанбаған көміртек қоспаларының бөлшектеріне тән көрініс анықталды. Энергия дисперсиялық рентгендік спектроскопия нәтижесінде күлдің кремнийлігі тән. Si және Al мөлшерінің жоғары болуы негізгі пуццоландық белсенді фаза болып табылатын алюмосиликат шынысының басым екенін растайды. Темірдің болуы феррит және магнетиттің болуын көрсетеді. Са және S аз мөлшерде болуы кальций қосылыстары мен сульфаттардың болуын көрсетеді. Көміртек шыңы (C) жанбаған көміртектің болуын, оның мөлшері күлдің минералды қоспа ретіндегі сапасына әсер етеді.

Қорытынды. Зерттеу жұмысының нәтижесінде келесідей қорытынды жасалды:

1. Зерттелген материалдардың химиялық құрамын талдау нәтижесінде, гипс құрамында кальций сульфаты дигидраты $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ басым болуы SO_3 (38,11 %) және CaO (29,89 %) жоғары құрамымен сипатталады. SiO_2 (4,64 %) және Al_2O_3 (1,29 %) төмен құрамы саз қоспаларының салыстырмалы түрде аз мөлшерде кездесетіндігін көрсетті. Портландцемент ЦЕМ I 42,5Б құрамында CaO (60,87 %) және SiO_2 (20,48 %), Al_2O_3 (5,88 %) және Fe_2O_3 (3,77 %) анықталды. Негізгі оксидтердің арақатынасы силикат фазаларының алит және белит басым болуын дәлелдейді. Опокада SiO_2 (75,31 %) мөлшерінің айтарлықтай жоғарылауымен, төмен CaO (1,24 %) мөлшерімен ерекшеленеді. Кремний диоксидінің жоғары мөлшері, Al_2O_3 айтарлықтай төмен мөлшерімен (9,24 %) және күйдіру кезіндегі жоғалу (ККЖ=4,68 %) аморфты кремнийі мен саз минералдарының басым болуын көрсетеді. Бұл химиялық құрам опоканың жоғары пуццоландық белсенділігін анықтайды. ЖЭС ұшқыш күлі F класындағы кремнийлі ұшқын күлге тән, SiO_2 (58,98 %) және Al_2O_3 (30,05 %) жоғары мөлшерімен сипатталады. Қышқылдық оксидтің жалпы мөлшері ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) 93 % асады, бұл алюмосиликат шынысының жоғары мөлшерін көрсетеді. CaO мөлшерінің төмендігі (2,08 %) оның қышқылдық сипатын растайды. Күйдіру кезіндегі жоғалу (0,97 %) шығыны жанбаған көміртек пен карбонаттардың төмен мөлшерде екендігін дәлелдейді.

2. Зерттелген материалдардың термогравиметриялық талдау нәтижесінде, гипстің 120-180 °C температура аралығында негізгі масса жоғалу 15-16 % болды, мұнда негізгі процес $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ сусыздануы орын алды. ЦЕМ I 42,5Б портландцементте 420-580 °C температура аралығында негізгі масса жоғалу 2-3,5 % болды, мұнда негізгі процес портландит минералының $\text{Ca}(\text{OH})_2$ сусыздануы анықталды. Опокада 400-520 °C температура аралығында негізгі масса жоғалу 10-11 % анықталды, мұнда негізгі процес сазды минералдардың құрамындағы су молекулаларының жоғалуы анықталды. Күлде 380-640 °C температура аралығында

негізгі масса жоғалу 4,5-5,5 % болды, мұнда негізгі процес көміртектің жану мен декарбонизациялану процесінің жүруі дәлелденді.

3. Зерттелген материалдардың расторлы электронды микроскопиялық талдау нәтижесінде, барлық компоненттердің құрамы айтарлықтай тұрақты екені және зиянды және қажетсіз қоспалардың мөлшері рұқсат етілген шектен төмен екені анықталды. Сондай-ақ, шикізаттардың құрамында радиоактивті элементтер U, Th, Ra және улы ауыр металл элементтерінің Cu, Pb, Be бөлшектері анықталған жоқ.

Қорытындылай келе, жүргізілген физика-химиялық зерттеудің нәтижесінде гипс, цемент, опока және күл қосындысынан гипс-цемент-пуццоланды композициялық материал алуға толықтай мүмкіндік бар екендігі дәлелденді.

References

Amiraliyev B., Taimasov B., Potapova E., Sarsenbaev B., Begentayev M., Dauletiyarov M., Kuandykova A., Abdullin A., Ainabekov N., Auyesbek S. (2025) Heat Treatment of Clay Shales and Their Utilization as Active Mineral Additives for the Production of Composite Cements. *Journal of Composites Science*. – No. 9. – 269 p. <https://doi.org/10.3390/jcs9060269> (in English).

Bumanis G., Korjakins A., Bajare D. (2022) Environmental Benefit of Alternative Binders in Construction Industry: Life Cycle Assessment. *Environments*. – No. 9. – P. 6. <https://doi.org/10.3390/environments9010006> (in English).

Bumanis G., Vitola L., Pundiene I., Sinka M., Bajare D. (2020) Gypsum, Geopolymers, and Starch-Alternative Binders for Bio-Based Building Materials: A Review and Life-Cycle Assessment. *Sustainability*. – No. 12. – P. 5666. <https://doi.org/10.3390/su12145666> (in English).

Bumanis G., Zorica J., Bajare D. (2020) Properties of Foamed Lightweight High-Performance Phosphogypsum-Based Ternary System Binder. *Applied Sciences*. – No. 10. – P. 6222. <https://doi.org/10.3390/app10186222> (in English).

Calderón-Morales B.R.S., García-Martínez A., Pineda P., García-Tenório R. (2021) Valorization of Phosphogypsum in Cement-Based Materials: Limits and Potential in Eco-Efficient Construction. *Journal of Building Engineering*. – No. 44. – P. 102506. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102506> (in English).

Cement Industry Net Zero Progress Report 2024/25. Global Cement and Concrete Association. On this link. <https://gccassociation.org/wp-content/uploads/2024/11/GCCA-Cement-Industry-ProgressReport-202425.pdf> 10.11.2024. (in English)

Colak A. (2011) Physical, Mechanical, and Durability Properties of Gypsum–Portland Cement–natural Pozzolan Blends. *Canadian Journal of Civil Engineering*. – No. 28. – P. 375-382. <https://doi.org/10.1139/100-123> (in English).

Declercq Y., Delbecq N., De Grave J., De Smedt P., Finke P., Mouazen A.M., Nawar S., Vandenberghe D., Van Meirvenne M., Verdoodt A. (2019) A Comprehensive Study of Three Different Portable XRF Scanners to Assess the Soil Geochemistry of An Extensive Sample Dataset. *Remote Sensing*. – No. 11. – P. 2490. <https://doi.org/10.3390/rs11212490> (in English).

Galautdinov A.R., Mukhametrahimov R.Kh. (2019) Osobennosti gidratatsii modifitsirovannogo gipsotsementno-puttsolanovogo vyazhushchego [Features of hydration of modified gypsum-cement-pozzolan binder]. *Construction materials*. – No. 10. – P. 58-63. (in Russian).

Jurkowska A.A., Świerczewska-Gładysz E. (2022). Opoka – a mysterious carbonate-siliceous rock: an overview of general concepts. *Geology, Geophysics and Environment*. – No. 48. – P. 257-278. <https://doi.org/10.7494/geol.2022.48.3.257> (in English).

Makarova I.A., Lokhova N.A. (2011) Fiziko-khimicheskiye metody issledovaniya stroitel'nykh materialov [Physico-chemical methods of research of building materials]. BSU edition: Belarus. – No. 2011. – 139 p. (in Russian).

Myrzakozha D.A., Mirzakhodzhaev A.A. (2014) Zamanai zertteu adisteri [Modern research methods]. Almaty. – No. 2014. – 352 p. (in Kazakh).

Potapova E.N. (2016) Nailuchshiye dostupnyye tekhnologii proizvodstva tsementa. Opyt razrabotki rossiyskogo spravochnika [The best cement production technologies. Experience in the development of the Russian directory]. Crocus: Moscow, Russia. – 49 p. (in Russian).

Production. Portland cement (except white). Bureau of National statistics of the Agency for strategic planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. On this link. <https://stat.gov.kz/en/> 06.03.2026. (in English).

Sahmenko G., Puzule L., Sapata A., Slosbergs P., Bumanis G., Sinka M., Bajare D. (2024) Gypsum–Cement–Pozzolan Composites for 3D Printing: Properties and Life Cycle Assessment. *Journal of Composites Science*. – No. 8. – P. 212. <https://doi.org/10.3390/jcs8060212> (in English).

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*