

**ACADEMIC SCIENTIFIC  
JOURNAL OF CHEMISTRY**

ISSN: 2224-5286 (Print)  
ISSN: 2518-1491 (Online)

**№1  
2026**

ISSN 2518-1491 (Online),  
ISSN 2224-5286 (Print)



CENTRAL ASIAN ACADEMIC  
RESEARCH CENTER



# ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

# 1 (466)

JANUARY – MARCH 2026

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947

PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY

#### 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:

**ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich** (deputy editor-in-chief) 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>

**AGABEKOV Vladimir Enokovich** (deputy editor-in-chief), doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Belarus, honorary director of the Institute of Chemistry of new materials (Minsk, Belarus) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

**STRNAD Miroslav**, head of the laboratory of the Institute of Experimental Botany of the Czech Academy of Sciences, professor (Olomouc, Czech Republic), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

**BURKITBAYEV Mukhambetkali**, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

**HOHMANN Judith**, head of the department of pharmacognosy, faculty of Pharmacy, University of Szeged, director of the interdisciplinary center for Life sciences (Szeged, Hungary), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

**ROSS Samir**, Ph.D, professor, school of Pharmacy, National Center for scientific research of Herbal Products, University of Mississippi (Oxford, USA), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

**KHUTORYANSKY Vitaly**, Ph.D, pharmacist, professor at the University of Reading (Reading, England), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

**TELTAYEV Bagdat Burkhanbayuly**, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

**PHARUK Asana Dar**, professor at Hamdard al-Majid college of Oriental medicine, faculty of Oriental medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

**FAZYLOV Serik Drakhmetovich**, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, deputy director of the Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

**ZHOROBKOVA Sharipa Zhorobekovna**, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Kyrgyzstan, Institute of Chemistry and chemical technology of NAS KR (Bishkek, Kyrgyzstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

**KHALIKOV Jurabay Khalikovich**, doctor of chemistry, professor, academician of the Academy of Sciences of Tajikistan, V.I. Nikitin Institute of Chemistry AS RT (Tajikistan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

**FARZALIEV Vagif Medzhid ogly**, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Azerbaijan (Azerbaijan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

**GARELIK Hemda**, PhD in chemistry, president of the department of Chemistry and Environment of the International Union of Pure and Applied Chemistry (London, England), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

---

#### ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (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 № **KZ23VPY00121156**, issued 05.06.2025

Thematic scope: *organic chemistry, inorganic chemistry, catalysis, electrochemistry and corrosion, pharmaceutical chemistry and technology.*

Periodicity: 4 times a year.

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© «Central Asian Academic Research Center» LLP, 2026

#### Бас редактор:

**ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрынулы**, 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=66021779606>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

#### Редакция алқасы:

**ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы** (бас редактордың орынбасары), 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>

**АГАБЕКОВ Владимир Еноквич** (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі, Жаңа материалдар химиясы институтының құрметті директоры (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

**СТРНАД Мирослав**, профессор, Чехия ғылым академиясының Эксперименттік ботаника институтының зертхана меңгерушісі (Оломоуц, Чехия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

**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/691218>

**ХОХМАНН Джудит**, Сегед университетінің Фармацевтика факультетінің Фармакогнозия кафедрасының меңгерушісі, Жаратылыстану ғылымдарының пәнаралық орталығының директоры (Сегед, Венгрия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

**РОСС Самир**, PhD, Миссисипи университетінің Өсімдік өнімдерін ғылыми зерттеу ұлттық орталығы, Фармация мектебінің профессоры (Оксфорд, АҚШ), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

**ХУТОРЯНСКИЙ Виталий**, философия докторы (PhD, фармацевт), Рединг университетінің профессоры (Рединг, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

**ТЕЛТАЕВ Бағдат Бұрханбайұлы**, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

**ФАРУК Асана Дар**, Хамдар аль-Маджида Шығыс медицина колледжінің профессоры, Хамдард университетінің Шығыс медицина факультеті (Қарачи, Пәкістан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

**ФАЗЫЛОВ Серік Драхметұлы**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Органикалық синтез және көмір химиясы институты директорының ғылыми жұмыстар жөніндегі орынбасары (Қарағанды, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

**ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробекқызы**, химия ғылымдарының докторы, профессор, Қырғызстан ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА Химия және химиялық технология институты (Бішкек, Қырғызстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

**ХАЛИКОВ Джурабай Халикович**, химия ғылымдарының докторы, профессор, Тәжікстан ҒА академигі, В.И. Никитин атындағы Химия институты (Душанбе, Тәжікстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

**ФАРЗАЛНОВ Вагиф Меджидоглы**, химия ғылымдарының докторы, профессор, АҰҒА академигі (Баку, Әзірбайжан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

**ГАРЕЛИК Хемда**, философия докторы (PhD, химия), Халықаралық таза және қолданбалы химия одағының Химия және қоршаған орта бөлімінің президенті (Лондон, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

---

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ23VPY00121156, выданное 05.06.2025 г.

Тематическая направленность: *органическая химия, неорганическая химия, катализ, электрохимия и коррозия, фармацевтическая химия и технологии.*

Периодичность: 4 раз в год.

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

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

**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>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

**Редакционная коллегия:**

**АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович** (заместитель главного редактора), 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>

**АГАБЕКОВ Владимир Еноквич** (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН Беларуси, почетный директор Института химии новых материалов (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

**СТРНАД Мирослав**, профессор, заведующий лабораторией института Экспериментальной ботаники Чешской академии наук (Оломоуц, Чехия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

**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/691218>

**ХОХМАНН Джудит**, заведующий кафедрой Фармакогнозии Фармацевтического факультета Университета Сегеда, директор Междисциплинарного центра естественных наук (Сегед, Венгрия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

**РОСС Самир**, PhD, профессор Школы Фармации национального центра научных исследований растительных продуктов Университета Миссисипи (Оксфорд, США), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

**ХУТОРЯНСКИЙ Виталий**, доктор философии (Ph.D, фармацевт), профессор Университета Рединга (Рединг, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

**ТЕЛЪТАЕВ Багдат Бурханбайулы**, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Министерство Индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

**ФАРУК Ахсана Дар**, профессор колледжа Восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет Восточной медицины университета Хамдарда (Карачи, Пакистан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

**ФАЗЫЛОВ Серик Драхметович**, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, заместитель директора по научной работе Института органического синтеза и углехимии (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

**ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробековна**, доктор химических наук, профессор, академик НАН Кыргызстана, Институт химии и химической технологии НАН КР (Бишкек, Кыргызстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

**ХАЛИКОВ Джурабай Халикович**, доктор химических наук, профессор, академик АН Таджикистана, Институт химии имени В.И. Никитина АН РТ (Душанбе, Таджикистан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

**ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджид оглы**, доктор химических наук, профессор, академик НАНА (Баку, Азербайджан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

**ГАРЕЛИК Хемда**, доктор философии (Ph.D, химия), президент Отдела химии и окружающей среды Международного союза чистой и прикладной химии (Лондон, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY»

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 05.06.2025 ж. берілген № KZ23VPYU00121156 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *органикалық химия, бейорганикалық химия, катализ, электрохимия және коррозия, фармацевтикалық химия және технологиялар.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС, 2026

## CONTENTS

## Chemistry

<b>Assembayeva E. K., Beisekhan A., Bozhbanov A. Zh., Nurmukhanbetova D.E., Gabdullina E.Zh.</b> Effect of chia seeds ( <i>Salvia Hispanica</i> l.) on the physicochemical and mineral properties of low-fat cottage cheese.....	11
<b>Balkhashbay Sh.Zh., Azimbayeva G.E., Kudaibergenova G.N., Kamysbayeva A.K., Kurbanbayeva N.M.</b> Determination of biologically active compounds in morphological parts of medicinal plants.....	24
<b>Darmenbayeva A.S., Rajasekharan R.</b> Preparation and characterization of nanocellulose biocomposites from agro-waste of the Zhambyl region.....	39
<b>Demets O.V., Rakhimberlinova Zh.B., Zgardan V.V., Serykh N.V., Dyussekeyeva A.T.</b> Qualitative and quantitative analysis of amino acids in Kyrgyz birch bark extract.....	55
<b>Jumekeyeva A.I., Talgatov E.T., Auyezkhanova A.S., Kenzheyeva A.M., Naizabayev A.A.</b> Complex formation of palladium (II) ions with organic polymers of various nature.....	70
<b>Dmitriyeva E.A.</b> Electrolytes of lithium-ion batteries.....	83
<b>Yegemberdiyeva S., Abdurazova P., Turtabaev S., Shitybaev S., Kerimbayeva K.</b> Catalytic properties of Ru- and Rh-promoted skeletal nickel catalysts in the hydrogenation of butyraldehyde.....	97
<b>Yertayeva A.B., Adylbekova A.O., Toleubekova A.G.</b> Production of emulsions stabilized by bentonite clay particles.....	112
<b>Fischer D., Jumadilov T., Haponiuk J., Toilanbay G., Baishibekov A.</b> Interpolymer KU-2-8: AV-17-8 systems for selective sorption of rhenium, molybdenum and tungsten.....	129
<b>Zhanikulov N., Zhurgarayeva D.</b> Investigation of the quality of cement clinker obtained from heap leaching waste.....	148
<b>Zhoshybaeva A.A., Kozhanova K.K., Mombekov S.E., Barakova A.Sh.</b> Pharmaceutical development of a medicinal product containing an isocitrate lyase inhibitor.....	162
<b>Ivanov N.S., Abilmagzhanov A.Z., Nurtazina A.E., Adelbayev I.E., Kholkin O.S.</b> Sequential electrochemical processes for the treatment of magnesium leaching solutions.....	176

<b>Imangaliyeva B., Duzelbayeva S., Tolesinova I., Bukeykhan D., Turlanova A.</b> Chemical and agronomic assessment of the use of mineral wool and coconut fiber as a substrate in a greenhouse.....	190
<b>Kurmanaliev M.K., Shaikhova Zh.E., Abilkasova S.O., Kalimoldina L.M., Bugubaeva G.O.</b> Crown esters immobilized on polymeric supports as novel interfacial catalysts.....	207
<b>Mataev M.M., Ongarbek A.T., Sarsenbayeva Z.B., Nurbekova M.A., Abdraimova M.R.</b> Synthesis and morphology of perovskite-structured $\text{CaMnO}_{2.98}$ .....	221
<b>Medeuova G.Zh., Azimbayeva G.E., Kaliyeva A.N.*, Sadykova D.A., Anuarova L.E.</b> Determination of vitamins in <i>Polygonum Aviculare</i> L. using capillary electrophoresis.....	238
<b>Mukusheva G.K., Jalmakhanbetova R.I., Seilkhanov T.M., Bakibaev A.A., Aliyeva M.R.</b> Functional modification reactions at the nitrogen atom of salsolin and biological activity of the obtained derivatives.....	251
<b>Muldakhmetov Z.M., Zhakina A.Kh., Arnt O.V., Vassilets Ye.P., Zhakin A.M.</b> Composite materials modified with carbon filler.....	267
<b>Nazarbek U., Raiymbekov Y., Abdurazova P., Kambarova G.</b> Study on the efficiency of water treatment using nanostructured water.....	280
<b>Nauanova A.P., Kassenov R.Z., Davrenbekov S.Zh., Bolatbay A.N., Altynbekkyzy A.</b> Intensification of the process of extraction of humic substances from brown coal.....	295
<b>Nurlybayeva A.N., Zharlykapova R.B., Taubaeva R.S., Matniyazova G.K., Rustem E.I.</b> Study of physical, chemical and mechanical properties of acrylic terpolymer.....	309
<b>Uali A., Omirzak U., Titanov A., Abilkanova F., Kunarbekova M.</b> Waste biomass-derived Fe-modified biochar: structure and application in potentiometric analysis.....	323
<b>Khamitova A.S., Nurmukhanbetova N.N., Ostretsova I.B., Kassenova N.B., Kuderina B.T.</b> Synthesis of metal corrosion inhibitors based on ammonia.....	338

## МАЗМҰНЫ

### ХИМИЯ

<b>Асембаева Э.К., Бейсехан А., Божбанов А.Ж.,</b> Чиа дәндерінің ( <i>Salvia Hispanica L.</i> ) майсыздандырылған сүзбенің физика-химиялық және минералдық көрсеткіштеріне әсері.....	11
<b>Балқашбай Ш.Ж., Азимбаева Г.Е., Қудайбергенова Г.Н.,</b> <b>Қамысбаева А.К., Қурбанбаева М.</b> Дәрілік өсімдіктердің морфологиялық мүшелеріндегі биологиялық белсенді заттарды анықтау.....	24
<b>Дарменбаева А.С., Rajasekharan R.</b> Жамбыл облысының агрокалдықты негізінде наноцеллюлозалық биокомпозиттерді алу және олардың қасиеттерін зерттеу.....	39
<b>Демец О.В., Рахимберлинова Ж.Б., Згардан В.В.*, Серых Н.В.,</b> <b>Дюсекеева А.Т., 2026.</b> Қырғыз қайың қабығының сығындысындағы аминқышқылдарының сапалық және сандық құрамын талдау.....	55
<b>Джумекеева А.И., Талғатов Э.Т., Ауезханова А.С., Кенжеева А.М., Найзабаев А.А.</b> Палладий (II) иондарының табиғаты әртүрлі органикалық полимерлермен кешен түзуі.....	70
<b>Дмитриева Е.А.</b> Литий-ионды аккумуляторлардың электролиттері.....	83
<b>Егембердиева С.Ж., Абдуразова П., Туртабаев С.К., Шитыбаев С.А.,</b> <b>Керимбаева К.З.</b> Ru және Rh промоторланған қаңқалы никель катализаторларының май альдегидін гидрлеу реакциясындағы каталитикалық қасиеттері.....	97
<b>Ертаева А.Б., Адильбекова А.О., Төлеубекова А.Ғ.</b> Бентонит сазының бөлшектерімен тұрақтандырылған эмульсияларды алу.....	112
<b>Фишер Д., Джумадилов Т., Хапонюк Ю., Тойланбай Г., Байшибеков А.</b> Рений, молибден және вольфрамды селективті сорбциялауға арналған KU-2-8:AV-17-8 интерполимерлі жүйелері.....	129
<b>Жаникулов Н., Жургараева Д.</b> Үйінді шаймалау қалдықтарынан алынған цемент клинкерінің сапасын зерттеу.....	148
<b>Жошыбаева А.А., Кожанова К.К., Момбеков С.Е., Баракова А.Ш.</b> Изоцитратлиаза ингибиторын қамтитын дәрілік препаратты фармацевтикалық әзірлеу.....	162

- Иванов Н.С., Абильмагжанов А.З., Нұртазина А.Е., Адельбаев И.Е., Холкин О.С.**  
Магнийді шаймалау ерітінділерін қайта өңдеу технологиясындағы дәйекті  
электрохимиялық процестер.....176
- Имангалиева Б., Дузелбаева С., Төлесінова И., Букейхан Д., Тұрланова А.,**  
Жылыжайда минералды жүн мен кокос талшығын субстарт ретінде қолданудың  
химия-агрономиялық бағасы.....190
- Құрманалиев М.Қ., Шанхова Ж.Е., Әбілқасова С.О., Калимолдина Л.М.,**  
**Бугубаева Г.О.**  
Полимерлік тасымалдаушыларда иммобилизацияланған краун-эфирлер —  
жаңа фазааралық катализаторлар ретінде.....207
- Матаев М.М., Оңғарбек А.Т., Сарсенбаева З.Б., Нурбекова М.А., Абдраимова М.Р.**  
**Перовскит құрылымды  $\text{CaMnO}_{2.98}$  синтезі мен морфологиясы.....221**
- Медеуова Г.Дж., Азимбаева Г.Е., Калиева А.Н., Садыкова Д.А., Ануарова Л.Е.**  
*Polygonum Aviculare L.* өсімдігінің құрамындағы дәрумендерді капиллярлы  
электрофорез әдісімен анықтау.....238
- Мукушева Г.К., Джалмаханбетова Р.И., Сейлханов Т.М., Бакибаев А.А., Алиева М.Р.**  
Сольсалиннің азот атомы бойынша функционалдық модификация реакциялары  
және алынған туындылардың биологиялық белсенділігі.....251
- Мулдахметов З.М., Жакина А.Х., Арнт О.В., Василец Е.П., Жакин А.М.**  
Көміртекті толтырғышпен модификацияланған композициялық материалдар.....267
- Назарбек У., Райымбеков Е., Абдуразова П., Қамбарова Ғ.**  
Наноқұрылымданған суды қолдану арқылы суды тазарту тиімділігін зерттеу.....280
- Науанова А.П., Касенов Р.З., Давренбеков С.Ж., Болатбай А.Н., Алтынбекқызы Ә.**  
Қоңыр көмірден гуминдік заттарды бөліп алу процесін қарқындету.....295
- Нурлыбаева А.Н., Жарлыкапова Р.Б., Таубаева Р.С., Матниязова Г.К., Рустем Е.І**  
Акрил терполимердің физика-химиялық және механикалық қасиеттерін зерттеу.....309
- Уәли А., Өмірзақ Ұ., Титанов А., Абилканова Ф., Қунарбекова М.**  
Қалдық биомассадан алынған темірмен түрлендірілген биокөмір: құрылымы  
және потенциометриялық талдауда қолданылуы.....323
- Хамитова А.С., Нурмуханбетова Н.Н., Острцова И.Б., Касенова Н.Б., Кудерина Б.Т.**  
Аммиак негізінде металдар коррозиясының ингибиторларын синтездеу.....338

## СОДЕРЖАНИЕ

## ХИМИЯ

<b>Асембаева Э. К., Бейсехан А., Божбанов А.Ж., Нурмуханбетова Д.Е., Габдуллина Е.Ж.</b> Влияние семян чиа ( <i>Salvia Hispanica L.</i> ) на физико-химические и минеральные показатели обезжиренного творога.....	11
<b>Балкашбай Ш.Ж., Азимбаева Г.Е., Кудайбергенова Г.Н., Камысбаева А.К., Курбанбаева Н.М.</b> Определение биологически активных веществ в морфологических органах лекарственных растений.....	24
<b>Дарменбаева А.С., Rajasekharan R.</b> Получение и свойства наноцеллюлозных биокмполитов на основе агроотходов Жамбылской области.....	39
<b>Демец О.В., Рахимберлинова Ж.Б., Згардан В.В., Серых Н.В., Дюсекеева А.Т.</b> Качественный и количественный анализ аминокислот в экстракте коры берёзы киргизской.....	55
<b>Джумекеева А.И., Талгатов Э.Т., Ауезханова А.С., Кенжеева А.М., Найзабаев А.А.</b> Комплексообразование ионов палладия (II) с органическими полимерами различной природы.....	70
<b>Дмитриева Е.А.</b> Электролиты литий-ионных аккумуляторов.....	83
<b>Егембердиева С.Ж., Абдуразава П., Туртабаев С.К., Шитибаев С.А., Керимбаева К.З.</b> Каталитические свойства скелетных никелевых катализаторов, промотированных Ru и Rh, в реакции гидрирования масляного альдегида.....	97
<b>Ертаева А.Б., Адильбекова А.О., Төлеубекова А.Ғ.</b> Получение эмульсий, стабилизированных частицами бентонитовой глины.....	112
<b>Фишер Д., Джумадилов Т., Хапонюк Ю., Тойланбай Г., Байшибекон А.</b> Интерполимерные системы KU-2-8:AV-17-8 для селективной сорбции рения, молибдена и вольфрама.....	129
<b>Жаникулов Н., Жургараева Д.</b> Исследование качества цементного клинкера, полученного из отходов кучного выщелачивания.....	148
<b>Жошыбаева А.А., Кожанова К.К., Момбеков С.Е., Баракова А.Ш.</b> Фармацевтическая разработка лекарственного препарата, содержащего ингибитор изоцитратлиазы.....	162

<b>Иванов Н.С., Абильмагжанов А.З., Нуртазина А.Е., Адельбаев И.Е., Холкин О.С.</b> Последовательные электрохимические процессы в технологии переработки растворов выщелачивания магния.....	176
<b>Имангалиева Б., Дүзелбаева С., Төлесінова И., Букейхан Д., Турланова А.</b> Химико-агрономическая оценка использования минеральной ваты и кокосового волокна в качестве субстрата в теплице.....	190
<b>Курманалиев М.К., Шаихова Ж.Е., Абилкасова С.О., Калимолдина Л.М., Бугубаева Г.О.</b> Краун-эфиры, иммобилизованные на полимерных носителях, как новые межфазные катализаторы.....	207
<b>Матаев М.М., Онгарбек А.Т., Сарсенбаева З.Б., Нурбекова М.А., Абдраимова М.Р.</b> Синтез и морфология перовскитной структуры $\text{CaMnO}_{2.98}$ .....	221
<b>Медсүова Г.Дж., Азимбаева Г.Е., Калиева А.Н., Садыкова Д.А., Ануарова Л.Е.</b> Определение витаминов, содержащихся в растении <i>Polygonum aviculare L.</i> , методом капиллярного электрофореза.....	238
<b>Мукушева Г.К., Джалмаханбетова Р.И., Сейлханов Т.М., Бакибаев А.А., Алиева М.Р.</b> Реакции функциональной модификации хлорида аммония по атому азота и биологическая активность полученных производных.....	251
<b>Мулдахметов З.М., Жакина А.Х., Арнт О.В., Василец Е.П., Жакин А.М.</b> Композитные материалы, модифицированные углеродным наполнителем.....	267
<b>Назарбек У., Райымбеков Е., Абдуразова П., Камбарова Г.</b> Исследование эффективности очистки воды с применением наноструктурированной воды.....	280
<b>Науанова А.П., Касенов Р.З., Давренбеков С.Ж., Болатбай А.Н., Алтынбекқызы А.</b> Интенсификация процесса выделения гуминовых веществ из бурого угля.....	295
<b>Нурлыбаева А.Н., Жарлыкапова Р.Б., Таубаева Р.С., Матниязова Г.К., Рустем Е.И.</b> Изучение физико-химических и механических свойств акрилового терполимера.....	309
<b>Уали А., Омирзак У., Титанов А., Абилканова Ф., Кунарбекова М.</b> Биоуголь, модифицированный железом, из отходов биомассы: структура и применение в потенциометрическом анализе.....	323
<b>Хамитова А.С., Нурмуханбетова Н.Н., Острцова И.Б., Касенова Н.Б., Кудерина Б.Т.</b> Синтез ингибиторов коррозии металлов на основе аммиака.....	338

© Mataev M.M., Ongarbek A.T.\*, Sarsenbayeva Z.B., Nurbekova M.A.,  
Abdraimova M.R., 2026.

Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: akniet.ongarbek@mail.ru

## SYNTHESIS AND MORPHOLOGY OF PEROVSKITE-STRUCTURED $\text{CaMnO}_{2.98}$

**Mataev Mukhametkali** — doctor of chemical sciences, professor, Kazakh national women's teacher training university, Department of Chemistry, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: mataev\_06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9057-5443>;

**Ongarbek Akniet** — Kazakh National Women's Teacher Training University, Department of Chemistry, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: akniet.ongarbek@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4891-1512>;

**Sarsenbayeva Zamira** — PhD student in the 8D05301 “Chemistry” EP, senior lecturer, Kazakh national women's teacher training university, Department of Chemistry, 050000, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: sarsenbayeva.z@qyzpu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7434-0441>;

**Nurbekova Marzhan** — candidate of chemical sciences, acting associate prof., Kazakh national women's teacher training university, Department of Chemistry, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: marzhan85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7258-3338>;

**Abdraimova Moldir** — PhD, acting associate prof., Kazakh national women's teacher training university, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: abdraimova87@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8040-512>.

**Abstract.** In this work, a  $\text{CaMnO}_{2.98}$ -based perovskite was synthesized. Additionally, its structural and morphological properties were investigated. The Pechini sol-gel method and the environmentally friendly Green synthesis method were used for the synthesis. In the Pechini method, metal ions formed a homogeneous gel with the help of citric acid and ethylene glycol. As a result, a nanocrystalline compound was obtained. Aloe vera extract was used in the green synthesis method. As a result, the perovskite was synthesized. Both methods enabled the synthesis of the perovskite-structured  $\text{CaMnO}_{2.98}$ . X-ray diffraction (XRD) analysis confirmed that the synthesized compound belongs to the orthorhombic space group. Furthermore, it was determined that the structure is perovskite. The sample prepared by the Pechini method yielded lattice parameters of  $a = 5.27 \text{ \AA}$ ,  $b = 7.46 \text{ \AA}$ ,  $c = 5.28 \text{ \AA}$ , and a unit cell volume of  $V = 207.92 \text{ \AA}^3$ . The structure obtained via green synthesis had lattice parameters  $a = 5.28 \text{ \AA}$ ,  $b = 5.26 \text{ \AA}$ ,  $c = 7.45 \text{ \AA}$ , and a unit cell volume of  $V = 207.24 \text{ \AA}^3$ . The Mn-O bond lengths ranged

from 1.041 to 2.450 Å, with an average of 1.971 Å. The Ca-O bond lengths ranged from 1.319 to 3.211 Å, with an average of 2.343 Å. These values indicate that the  $\text{MnO}_6$  octahedral structure is stable. Furthermore, they demonstrate that the  $\text{Ca}^{2+}$  ions stabilize the lattice. The EBSD and SAED results showed that the  $\text{CaMnO}_{2.98}$  perovskite is in the pure orthorhombic (Pnma) phase. The sample's surface composition was analyzed by scanning electron microscopy (SEM). The composition of the manganite was analyzed by EDS SEM analysis. This corresponds to the chemical composition of the compound. According to these analysis results, the average particle sizes were 0.24  $\mu\text{m}$  and 0.7  $\mu\text{m}$ . In the FTIR spectra, the bands in the 662  $\text{cm}^{-1}$  and 671  $\text{cm}^{-1}$  regions corresponded to Ca-O and Mn-O bonds. The obtained results demonstrate that the  $\text{CaMnO}_{2.98}$  perovskite is a good material for various applications.

**Keywords:**  $\text{CaMnO}_{2.98}$ , perovskite structure, Pechini method, green synthesis, orthorhombic structure

*For citations: Mataev M.M., Ongarbek A.T., Sarsenbayeva Z.B., Nurbekova M.A., Abdraimova M.R. Synthesis and morphology of perovskite-structured  $\text{CaMnO}_{2.98}$ . Academic Scientific Journal of Chemistry, 2026. — No.1. — P. 221–237. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1491.351>*

© **Матаев М.М., Оңғарбек А.Т.\*, Сарсенбаева З.Б., Нурбекова М.А.,  
Абдраимова М.Р., 2026.**

Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан.  
E-mail: [akniet.ongarbek@mail.ru](mailto:akniet.ongarbek@mail.ru)

## ПЕРОВСКИТ ҚҰРЫЛЫМДЫ $\text{CaMnO}_{2.98}$ СИНТЕЗІ МЕН МОРФОЛОГИЯСЫ

**Матаев Мухаметкали** — химия ғылымдарының докторы, профессор, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, химия кафедрасы, Алматы, Қазақстан,  
E-mail: [mataev\\_06@mail.ru](mailto:mataev_06@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9057-5443>;

**Оңғарбек Ақниет** — Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, химия кафедрасы, Алматы, Қазақстан,  
E-mail: [akniet.ongarbek@mail.ru](mailto:akniet.ongarbek@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0008-4891-1512>;

**Сарсенбаева Замира** — 8D05301-Химия БББ докторанты, аға оқытушы, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Химия кафедрасы, Алматы, Қазақстан,  
E-mail: [sarsenbayeva.z@qyzpu.edu.kz](mailto:sarsenbayeva.z@qyzpu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-7434-0441>;

**Нурбекова Маржан** — химия ғылымдарының кандидаты, қауым.проф.м.а., Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, химия кафедрасы, Алматы, Қазақстан,  
E-mail: [marzhan85@mail.ru](mailto:marzhan85@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7258-3338>;

**Абдраимова Молдир** — PhD, қауым. профессор м.а., Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,  
E-mail: [abdaimova87@mail.ru](mailto:abdaimova87@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8040-512>.

**Аннотация.** Бұл жұмыста  $\text{CaMnO}_{2.98}$  негізіндегі перовскиті синтезделіп алынды. Сонымен қатар, құрылымдық және морфологиялық қасиеттері зерттелді. Печинидің зол-гель әдісі және экологиялық таза болып табылатын Жасыл синтез

әдісі синтездеу үшін пайдаланылды. Печини әдісі арқылы металл иондары лимон қышқылы мен этиленгликоль көмегімен біртекті гель түзді. Нәтижесінде нанокұрылымды қосылыс алынды. Ал жасыл синтез әдісінде алоэ сығындысы қолданылды. Нәтижесінде перовскит синтезделіп алынды. Осы екі әдіс перовскит құрылымды  $\text{CaMnO}_{2.98}$  алуға мүмкіндік берді. Рентгендік дифракциялық (XRD) талдау кезінде синтезделген қосылыстың орторомбты сингонияға жататыны дәлелденді. Сонымен қатар, құрылымы перовскит екені анықталды. Печини әдісімен алынған үлгінің тор параметрлері  $a = 5.27 \text{ \AA}$ ,  $b = 7.46 \text{ \AA}$ ,  $c = 5.28 \text{ \AA}$ , элементар ұяшық көлемі  $V = 207.92 \text{ \AA}^3$  мәндерін берді. Жасыл синтез арқылы алынған құрылым мәндері  $a = 5.28 \text{ \AA}$ ,  $b = 5.26 \text{ \AA}$ ,  $c = 7.45 \text{ \AA}$  және  $V = 207.24 \text{ \AA}^3$  болды. Mn-O байланысының ұзындықтары  $1.041\text{--}2.450 \text{ \AA}$  аралығында болып, орта мәні  $1.971 \text{ \AA}$  құрады. Ca-O байланыстары болса,  $1.319\text{--}3.211 \text{ \AA}$  аралығында, орта мәні  $2.343 \text{ \AA}$  болды. Бұл мәндер  $\text{MnO}_6$  октаэдрлерінің құрылымы жағынан тұрақты екенін көрсетеді. Сонымен қатар,  $\text{Ca}^{2+}$  иондарының торды тұрақтандыратынын дәлелдейді. EBSD және SAED нәтижелері  $\text{CaMnO}_{2.98}$  перовскитінің таза орторомбты (Pnma) фаза екенін көрсетті. Сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM) бойынша үлгінің беттік құрамы талданды. EDS SEM анализі арқылы манганиттің құрамы талданды. Бұл қосылыстың химиялық құрамына сәйкес келеді. Осы талдау нәтижелері арқылы бөлшектердің орта өлшемдері  $0.24 \text{ мкм}$  және  $0.7 \text{ мкм}$  құрады. FTIR спектрлерінде  $662 \text{ см}^{-1}$  және  $671 \text{ см}^{-1}$  аймақтарындағы жолақтар Ca-O және Mn-O байланыстарына сәйкес келді. Алынған нәтижелер  $\text{CaMnO}_{2.98}$  перовскитінің әртүрлі қолдануларға жақсы материал екенін дәлелдейді.

**Түйін сөздер:**  $\text{CaMnO}_{2.98}$ , перовскит құрылымы, Печини әдісі, Жасыл синтез, орторомбты құрылым

© Матаев М.М., Онгарбек А.Т.\*, Сарсенбаева З.Б., Нурбекова М.А.,  
Абдраимова М.Р., 2026.

Казахский национальный женский педагогический университет,

Алматы, Казахстан.

E-mail: akniet.ongarbek@mail.ru

## СИНТЕЗ И МОРФОЛОГИЯ ПЕРОВСКИТНОЙ СТРУКТУРЫ $\text{CaMnO}_{2.98}$

**Матаев Мухаметкали** — доктор химических наук, профессор Казахский национальный женский педагогический университет, кафедра химии, Алматы, Казахстан,

E-mail: mataev\_06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9057-5443>;

**Онгарбек Акниет** — студент 4 курса ОП 6В05301–Химия. Казахский национальный женский педагогический университет, кафедра химии, Алматы, Казахстан,

E-mail: akniet.ongarbek@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4891-1512>;

**Сарсенбаева Замира** — докторант по ОП 8D05301–Химия, старший преподаватель. Казахский национальный женский педагогический университет, кафедра химии, Алматы, Казахстан,

E-mail: sarsenbayeva.z@qyzpu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7434-0441>;

**Нурбекова Маржан** — кандидат химических наук, и.о.ассоц.профессор. Казахский национальный женский педагогический университет, кафедра химии, Алматы, Казахстан,

E-mail: marzhan85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7258-3338>;

**Абдраимова Молдир** — PhD, и.о.ассоц.профессор, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан,  
E-mail: abdraimova87@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8040-512>.

**Аннотация.** В работе представлен синтез перовскитного соединения состава  $\text{CaMnO}_{2.98}$  и исследование его структурных и морфологических свойств. Синтез осуществлялся двумя методами: золь-гель-методом Печини и экологически безопасным методом «зелёного» синтеза. В методе Печини ионы металлов формировали однородный гель с использованием лимонной кислоты и этиленгликоля, что позволило получить нанокристаллический материал. В «зелёном» методе в качестве восстановителя использовался экстракт алоэ вера. Оба подхода обеспечили успешное получение перовскита  $\text{CaMnO}_{2.98}$ . Рентгенофазовый анализ (XRD) показал, что синтезированное соединение кристаллизуется в орторомбической пространственной группе (Pnma). Для образца, полученного методом Печини, параметры решётки составили:  $a = 5,27 \text{ \AA}$ ,  $b = 7,46 \text{ \AA}$ ,  $c = 5,28 \text{ \AA}$ , объём элементарной ячейки  $V = 207,92 \text{ \AA}^3$ . Для образца, синтезированного «зелёным» методом, параметры составили:  $a = 5,28 \text{ \AA}$ ,  $b = 5,26 \text{ \AA}$ ,  $c = 7,45 \text{ \AA}$ ,  $V = 207,24 \text{ \AA}^3$ . Анализ длин связей показал, что Mn–O варьируются в диапазоне 1,041–2,450  $\text{ \AA}$  (среднее значение 1,971  $\text{ \AA}$ ), а Ca–O - 1,319–3,211  $\text{ \AA}$  (среднее 2,343  $\text{ \AA}$ ), что свидетельствует о стабильности октаэдрической структуры  $\text{MnO}_6$  и стабилизирующей роли ионов  $\text{Ca}^{2+}$ . Результаты EBSD и SAED подтвердили наличие чистой орторомбической фазы. Морфология образцов, исследованная методом сканирующей электронной микроскопии (SEM), показала однородное распределение частиц, а элементный состав, определённый методом EDS, соответствует стехиометрии соединения. Средний размер частиц составил 0,24–0,7 мкм. В FTIR-спектрах полосы поглощения в области 662–671  $\text{ см}^{-1}$  соответствуют колебаниям связей Ca–O и Mn–O. Полученные результаты демонстрируют, что перовскит  $\text{CaMnO}_{2.98}$  является перспективным материалом для различных функциональных применений.

**Ключевые слова:** перовскиты,  $\text{CaMnO}_{2.98}$ , метод Печини, зелёный синтез, орторомбическая структура, морфология

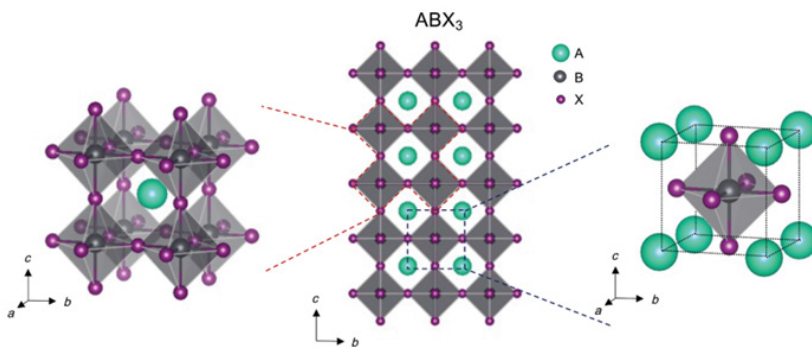
**Кіріспе.** Перовскит сияқты құрамы жағынан ұқсас оксидтер, әсіресе әртүрлі қабатты құрылымға ие қосылыстар, қазіргі таңда зерттеушілердің ерекше назарына ілігеді (Gubareva, 2023). Олардың ішінде  $\text{CaMnO}_3$  ерекше құрылымдық, термоэлектрлік, магниттік және электрлік қасиеттеріне байланысты өте үлкен қызығушылық тудырып отыр. Кальций манганиті негізден n-типті жартылай өткізгіш қасиеттері бар болып табылады. Бұдан бөлек, орторомбикалық құрылымда кристаллдануымен ерекше сипат алады. Жалпы алғанда,  $\text{CaMnO}_3$  кристалдық құрылымының ыңғайлылығы бірнеше өзге де құрылымдар мен қосылыстарға оның қасиеттерін өзгертуге, айқындауға мүмкіндік береді (Nandan et al., 2022). Манганиттердің негізгі ерекшелігіне олардың өте жақсы өткізгіштік пен үлкен магниттік кедергі құбылыстарын көрсетуі жатады. Mn–Ca құрылымы тұрақты перовскит құрылымына сәйкес келетін кальций манганитін

(CaMnO<sub>3-δ</sub>) түзе алады, ол фазалық құрылымын өзгертпей оттегіні (O<sub>2</sub>) бөлуге қатыса алады (Li et al., 2024). Осындай химиялық ерекшеліктердің спин, заряд және орбитальдық жүйелер арасындағы күшті өзара әрекеттесумен сәйкес келуі нәтижесінде манганиттерде әртүрлі металлдық, оқшаулағыш және магниттік фазаларды қамтитын өте күрделі фазалық диаграмма түзіледі (Suresh et al., 2024).

**Әдеби шолу.** Перовскит құрамында ABO<sub>3</sub> (A-бағытында сілтілік, сілтілік жер және сирек металдар болады (Li, Na, K, Ca, Ba, Mg, Y, La, Ho т.б.), B-бағытында ауыспалы металдар (Mn, Fe, Ni, Co, Cr т.б.) металдары болады. Перовскит құрылысының ерекшелігі В позициясындағы MeO<sub>6</sub> октаэдрлі пішін түзіп байланысуымен ерекшеленеді. Перовскит оксидтерінің А- және В-құрамын әртүрлі металл прекурсорларын пайдалану немесе олардың пропорцияларын өзгерту арқылы жеңіл түрде басқаруға болады, нәтижесінде перовскит оксидтеріндегі вариациялардың үлкен ауқымы болады. Қазіргі уақытта перовскит оксидтерінің 1000-нан астам түрі анықталған, олардың 60 000-ға жуық әртүрлі түрлері бар. Бұл мүмкіндік перовскит оксиді электрокатализаторларын каталитикалық реакциялардың кең ауқымында қолдануға мүмкіндік береді. Перовскит оксидтерінің жоғары сапалы кристалды құрамы бар бөлшектерін қатты фазалық күйдіру және Печини әдісі арқылы алуға болады, ал перовскит оксидтерінің монокристалды пленкаларын лазерлік эпитаксис және химиялық тұндыру сияқты әдістерді қолдану арқылы өсіруге болады. Бұл синтезделген перовскит оксиді катализаторларына теориялық модельге сәйкес келуіне мүмкіндік береді, тығыздықтың функционалдық теориясы және негізгі құрылымын зерттеу үшін бастапқы молекулалық динамика сияқты теориялық есептеу әдістерін қосып, пайдалануды жеңілдетеді. Сонымен қатар, жоғары температурада синтезделген перовскит оксидтері әдетте жоғары химиялық тұрақтылықты көрсетеді және сәйкес электрокаталитикалық жағдайларда олардың көлемдік құрылымын сақтайды. Кейбір зерттеулерде перовскит оксидтері жүйелі түрде зерттеліп, шынайы дескрипторлары жинақталған болса, көптеген дескрипторлар күрделі электрокаталитикалық процестерден туындаған құрылымдық кезеңдермен өзара шектелген. Мысалы, OER процесі кезінде перовскит оксидтерінің беткі кезеңі бастапқы құрылымдарға негізделген дескрипторларды сәйкес келмеуіне алып келеді. Сонымен қатар, перовскит оксидтері әр түрлі электрокаталитикалық реакцияларда нақты каталитикалық механизмдерді көрсетеді, өнімділіктің негізгі құрамы сәйкесінше ерекшеленеді. Жоғары өнімді перовскит оксиді электрокатализаторларын жобалау каталитикалық механизмдерді және осы материалдарға ғана тән маңызды факторларды дәл түсінуден алынған принциптерді сақтауды қажет етеді. Дегенмен, перовскит оксидтерін басқаратын әртүрлі механизмдер мен негізгі факторларды түсіндіретін жан-жақты шолулардың тапшылығы болды, нәтижесінде перовскит оксидінің тиімді электрокатализаторларын жобалауға көмектесетін арнайы қолданылатын әдістемелер жоқ. Сондықтан әртүрлі каталитикалық реакциялардағы перовскит оксидтерінің өнімділігіне әсер ететін каталитикалық механизмдер мен негізгі факторларды қорытындылау үшін қарау қажет. Мұнда

перовскит оксиді электрокатализінің механизмдеріне тоқталып, зерттеу негізін ұсынуға толық негіз бар. Осы құрылым арқылы зерттеушілер перовскит оксиді электрокатализаторларын зерттеу мен жобалаудағы механизмдер мен әсер етуші факторларды талдап, анықтай алады, оларды фотокатализ бен термокатализдегі көптеген басқа реакцияларға кеңейте алады (Zhao et al., 2024).

Перовскит құрылымы бар материалдар заманауи технологияның көптеген салаларында қолданылып, үлкен қызығушылық тудыруда. Олардың негізгі бірнеше ерекше қасиеттері жұқа қабатты конденсаторлар, лазері бар құрылғыларда, сенсорлар жасауда және дәрі жеткізу сияқты әртүрлі қолданбаларға тиімді түрде жарамды етеді (Aswathy et al., 2022). Перовскиттер  $ABX_3$  жалпы формуласына жататын материалдар класына кіреді, мұнда А - катион, В - металл, ал Х - анион болып табылады. Олардың өлшемдері әртүрлі болуы мүмкін (0D, 1D, 2D, 3D). Бұл тікелей кристалдық тор құрылымына байланысты. Негізінен  $ABO_3$  типті құрылым кристалдық тормен сипатталады, онда фотокаталитикалық және фотоэлектрокаталитикалық қасиеттер материалдардың электрондық құрылымына байланысты (Pokutnyi et al., 2025).



Сурет 1 - Кеңістіктегі 3D перовскиттің құрылымы (Duan et al., 2024).

Кальций манганит оксиді ( $CaMnO_3$ ) - жоғары термоэлектрлік қозғаушы күшке ( $S = -550 \mu V/K$ ) және төмен жылуөткізгіштікті құрайды, бұл оны перспективалы термоэлектрлік материал ретінде сәйкес келіп сипатталады. Перовскит құрылымында екі қоспалау түрінің болуы оның қасиеттерін әртүрлі қолдану салаларына пайдалануға мүмкіндік береді. Алайда, бұл оксидтердің бөлме температурасындағы электрлік кедергісі өте жоғары болғандықтан, олардың ZT мәні небәрі 0,06 шамасына ғана сәйкес келеді. Осыған байланысты соңғы зерттеулер  $CaMnO_3$  қосылысының термоэлектрлік қасиеттерін арттыру мақсатында нанокұрылымдау немесе электрондық қоспалау арқылы электрлік кедергіні азайтуға, тежеуге бағытталған (Pant et al., 2025).

Құрамында  $Ca_2Fe_2O_5$ ,  $CaMnO_3$  сияқты аралас оксидтері бар кальций, перовскит құрылымы бар  $CaTiO_3$  және  $CaZrO_3$  күн энергиясының маңызы ретінде айтарлықтай қызығушылық тудырады. Жоғарыда айтылғандардан перовскит құрылымдарына электрохимиялық және көптеген салаларда қолдануда көп көңіл бөлінді.  $CaMnO_3$

даму кезеңінде ерекше назар аударуға лайық жоғары қолдануларға, экологиялық тазалыққа және төмен бағаға байланысты күн батареяларындағы балама  $n$ -түрі. Соңғы зерттеулер  $\text{CaMnO}_3$ -ның электрлік қасиеттерін зерттеу мақсатында судың адсорбциясына байланысты  $\text{CaMnO}_3$  төмен температурада синтездеу үшін маңызды болып табылады. Демек, жоғары біртекті және ұсақ ұнтақты перовскит оксиді материалдарын дайындау үшін салқындату арқылы кептіру, жану процесі және гель синтезі сияқты әртүрлі әдістер қолданылды (Nurhaziqah et al., 2020).

Перовскиттердегі заряд тасымалдау үдерісі вакансиялар, қосылыстар немесе қоспалар сияқты ақаулардың әсеріне ұшырайды, олар заряд тасымалдаушылар үшін арнай жасалған орталықтар ретінде жұмыс істей алады (Afre et al., 2024).

Күрделі металл оксидтеріндегі және әсіресе перовскиттердегі оттегінің бос орындары материалдың ішкі қасиеттерін бақылау дәрежесін жеңілдетуге байланысты олардың электрокаталитикалық белсенділігін айтарлықтай арттыратыны көрсетілген. Перовскиттердегі оттегі бос орындары олардың түзілу энергиясының төмендігіне байланысты сәйкес келетін ең қолайлы анионды немесе Шоттки ақауларының бірі болып саналады. Перовскит оксидтері, өтпелі металл оксидтерінің класы, біртекті құрылымдық, электронды, иондық және электрокаталитикалық сипаттамаларына байланысты перспективалы электрокаталитизаторлар ретінде пайда болды. Басқа электрокаталитикалық материалдармен салыстырғанда, перовскит оксидтері арзан, өйткені олар жерге бай элементтерге негізделген, синтезделуі оңай және қоршаған ортаға зиянсыз болып келеді (Badreldin et al., 2020).

Оттек вакансияларының болуы және марганецтің көпваленттілігі перовскит құрылымы бар материалды электрохимиялық салалар үшін тартысты қарсылас етеді (Yu et al., 2019). Сондықтан  $\text{CaMnO}_{3-\delta}$  жүйесіндегі оттек вакансияларының әсерін түсіну оның практикалық қолданбалардағы тиімділігін анықтау үшін аса қажет (Gastaldi et al., 2026).

$\text{CaMnO}_{2.98}$  бейстехиометриялық перовскиттің ( $\text{CaMnO}_{3-\delta}$ ) құрамындағы оттегі вакансияларының болуына ( $\delta=0.02$ ) байланысты ерекшеленеді және осының әсерінен классикалық перовскитке қарағанда физика-химиялық қасиеттері де өзгереді. Сондай-ақ, құрамындағы оттегі вакансияларымен қатар  $\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{4+}$  валенттілігінің өзгерісі де манганитті материалдың құрамындағы оттегінің алмасуын көрсетеді. Перовскит пішінді кальций манганитіне магний оксидін қосу арқылы композит құрамында  $\text{CaMnO}_{2.98}$  түзілгендігі жұмыста көрсетілген. Аталмыш материал туралы әдеби шолу барысында құрамы рентген фазалы талдау әдісімен (XRD) әдісімен талданып, қазіргі таңда синтезделіп алынған және кристаллографиялық тұрғыдан кеңінен талқылған. Кеңістіктік тобы  $Pnma$  және сингония типі орторомбты екені талданған (Löhnert and Töpfer, 2022). Алайда, температураны жоғарылату арқылы және оттегінің порциялды қысымын арттыру арқылы құрылысын тетрагональды немесе кубты құрылысқа өзгертуге болады (Löhnert and Töpfer, 2022; Rosa et al., 2024). Бұл өзгерістер құрамындағы  $\text{Mn}$  ионының  $\text{MnO}_6$  октоэдрлі пішін түзуі және оттегі вакансияларының болуымен жүзеге асады. (Pant and Mahapatro, 2025) талмыш материал құрамындағы оттегінің

тапшылығы тұрақты  $\delta$  шама деп кесіп айта алмаймыз және шамасына тәуелді .

Оттегі вакансиясының әсері және электробейтарап молекула түзілу үшін бейстехиометриялық манганит түзілуі үшін  $Mn^{3+}/Mn^{4+}$  ауыспалы валенттілікте таралуы арқылы олардың каталитикалық, магниттік және электрлік/диэлектрлік қасиеттерінің өзгеруімен мүмкіндік беріп материалды көпфункционалды етеді. Магниттік қасиетіне тоқталар болсақ, әдеттегі  $CaMnO_3$  перовскитті манганитіміз антиферромагнитті изолятор болса, оттегі вакансиялы манганитіміздің құрамында  $Mn^{3+}$  ионының түзілуінен магниттік ауысуынан әлсіз ферромагнитті қасиет көрсетеді. Қолданбалы тұрғыдан,  $CaMnO_{3-\delta}$  және оның туындылары жоғары температураға төзімділігімен және Зеебек коэффициентімен N-типті материал болғандықтан термоэлектрлік қосылыс болып табылады және соның әсерінен жану реакцияларында қолданылады (1-кесте) (Löhnert and Töpfer, 2022).

Кесте 1 - Перовскитті кальций манганитінің түрлері

Формуласы	Кристалдық құрылымы	Қасиеттері	Фазаның ерекшеліктері
$CaMnO_3$	Орторомбты	G-типті антиферромагнитті, жартылай өткізгішті және диэлектрлік	Құрамында $Mn^{4+}$ бар классикалық перовскит және қыздырғанда тетрагональды (896 °C) және кубты (913 °C) пішінге ауысады.
$CaMnO_{3-\delta}$	Бұрмаланған орторомбты	n-типті өткізгіштік және әлсіз ферромагнитті	$Mn^{4+} \rightarrow Mn^{3+}$ ауысу мен Ян–Теллер бұрмалануы болады.

$CaMnO_{3-\delta}$  бейстехиометриялық перовскиттің физика-химиялық қасиеттерін өзгерту немесе түрлендіру жайында көптеген зерттеулер бар. Атап өткендей, қосылыстың көпфункционалды қасиеттері өнімнің морфологиясы, құрылысы және құрамындағы элементтердің валенттілік ауысуы мен оттегінің тасымалдағыштымен байланысты (Andoulsi-Fezei and Horchani-Naifer, 2023). Мәселен, Chang және әріптестері алғаш рет  $CaMnO_3$  перовскитін литий-ионды батареялар үшін анодтық материал ретінде талдаулар жүргізді. Бұл материалды қайта зарядталатын батареяларда және энергия сақтау құрылғыларында қолдануға болатыны көрсетілді (Abdel-Khalek et al., 2025).

Стехиометриялы перовскиттен өзгеше  $CaMnO_{3-\delta}$  перовскитіндегі оттегі вакансиялары ( $\delta$ ) электрохимиялық қолданбаларда  $Mn^{4+}/Mn^{3+}$  тотығу-тотықсыздану реакцияларына негізделген процестерді жеңілдетеді (Kuganathan and Chronos, 2021). Стехиометриясы бұзылған перовскит типті  $CaMnO_3$  қосылыстары (мысалы,  $CaMnO_{3-\delta}$  және  $Ca_{1-x}A_xMnO_3-\delta$ , мұндағы А – позициясының элементтерін лигерлеу арқылы) жоғары температуралы TCES қолданбалары үшін жақсартылған редокс қасиеттері мен үлкен әлеуетке ие екені кеңінен көрсетілген (Ma et al., 2025).

**Зерттеу материалдары мен әдістері.** Синтез кезінде жоғары тазалықтағы реагенттер қолданылды. Атап айтқанда, кальций оксиді ( $CaO$ ) (ГОСТ 8677-76), марганец (II) нитраты гидраты ( $Mn(NO_3)_2 \cdot xH_2O$ ) (ГОСТ 15710-66-4), сондай-ақ кешен түзуші және тұрақтандырғыш ретінде этиленгликоль ( $C_2H_6O_2$ ) (ГОСТ 10164-75) және лимон қышқылы ( $C_6H_8O_7$ ) (ГОСТ 908-79) пайдаланылды. Осы

реагенттер синтез кезеңінде гомогенді ерітінді алу мақсатында алдын-ала есептеліп алынған мөлшерде арнайы қолданылды.

Кальций манганитті комплекс оксидін синтездеп алуға арнайы золь-гель (Печини әдісі) және жасыл синтез әдістері қолданылды. Синтездеу үшін қыздыру аппараты ретінде SNOL (Литва, Утена) муфель Оның кристалл құрылымын, фазалық құрамын және кристаллит өлшемін анықтау үшін рентгендік дифракция (XRD) MINIFLEX 600 Rigaku құрылғысы көмегімен (Жапония, Токио) фазалық талдау жүргізілді.

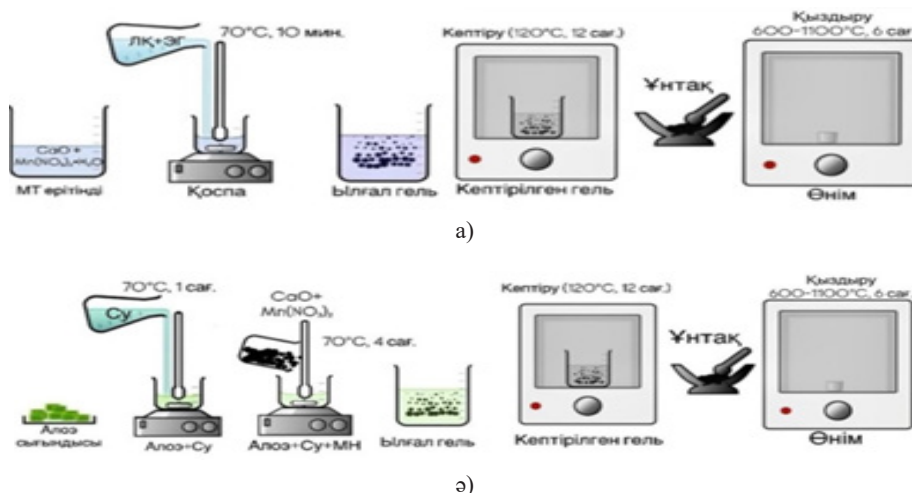
4000–400  $\text{cm}^{-1}$  диапазонында жұмыс істейтін Фурье инфрақызыл (FTIR) спектрометрі BRUKER ALPHA құрылғысы (Германия, Эттлинген) материалдағы функционалдық топтар мен металл-оттегі (M-O) байланыстарын зерттеу үшін қолданылады. Құрылымдық сипаттамаларды алу үшін сканерлеуші электронды микроскоп SEM Thermo Fisher Scientific Axia құрылғысы (АҚШ, Уолтем, Массачусетс құрама штаты) пайдаланылды. Бұл әдіс үлгінің беттік құрылымын, морфологиясын және өлшемдік таралуын анықтауға мүмкіндік берді. SEM суреттері зерттелетін материалдың біртектілігі мен құрылымдық ерекшеліктерін толық түсінуді қамтамасыз етті.

**Эксперименттік бөлім.** Кальций манганитін синтездеп алу үшін Печини золь-гель әдісі және экологиялық таза «жасыл синтез» әдісі пайдаланылды. Печини золь-гель әдісі үлгіні тұрақты түрде хелатты тұрақтандыру кезінде кеңінен қолданылады. Жасыл синтез әдісі болса үлгіні табиғи ортаға зиянсыз, тиімді әдіс етеді. Жалпы алғанда, екі әдісте металл иондарын органикалық қосылыстар (лимон қышқылы және этиленгликоль) арқылы біртекті нанокұрылымды материал алуға мүмкіндік береді. Синтез процесі кезінде реагенттерді еріту, осы реагенттерге комплекс түзуші компоненттерді қосу, арнайы біртекті гель қалыптастыру және қатты құрамы бар өнімді алу мақсатында термиялық өңдеу сияқты кезеңдерді қамтыды. Бұл кезеңдердің нәтижесінде перовскит құрылымды кальций манганиті алынған болатын.

Ең алғашқы синтез Печини үшін бастапқы реагенттер ретінде кальций оксиді және марганец нитраты қолданылды. Бұл реагенттер дәл есептеліп, өлшеніп алынды. Өлшенген реагенттер дистильденген суда толығымен ерітілді. Ерітілген реагенттер біртекті ерітіндіге айналды. Осы мөлдір ерітінді магнитті араластырғышта 70-90°C дейін қыздырылды. Қыздыру барысында органикалық тұрақтандырғыш ретінде лимон қышқылын және гель түзуші ретінде этиленгликоль қосылды. Бұл реагенттер гелденуді жеңілдетеді. Осы процесте қоймалжың гель түзілді. Алынған гель үлгісі 12 сағат бойы 120°C температурада кептіріліп, кеуекті құрылымы бар өнім алынды. Бұл қатты материал біртекті құрылым болуы үшін бірнеше рет ұнтақталды. Соңында алынған ұнтақ 6 сағат бойы 600-1100°C температурада пеште күйдірілді. Нәтижесінде органикалық қалдықтар түгел жойылғаны байқалды. Синтез соңында перовскит құрылымды кальций марганец оксидінен ( $\text{CaMnO}_{2.98}$ ) тұратын материал алынды (5-сурет).

Жасыл синтез процесі зияны жоқ таза әдіс болғандықтан алоэ қолданылды. Алоэден сығынды алынып, кальций оксиді және марганец нитраты «жасыл синтез»

әдісіне бастапқы реагенттер ретінде пайдаланылды. Бұл реагенттер өлшеніп, дистильденген суда толығымен ерітілді. Алынған мөлдір ерітінді 70-90°C дейін қыздырылды. Алынған гель 12 сағат бойы 120°C температурада кептірілді. Содан кейін алынған кеуекті өнім ұнтақталды және 6 сағат бойы 600-1100°C күйдірілді. Соңында перовскит құрылымы бар  $\text{CaMnO}_{2.98}$  ұнтағы синтезделіп алынды (2-сурет).



Сурет 2 - (а,ә) - Печини әдісімен (а) және Жасыл синтез әдісімен (ә)  $\text{CaMnO}_{2.98}$  синтез кезеңдері

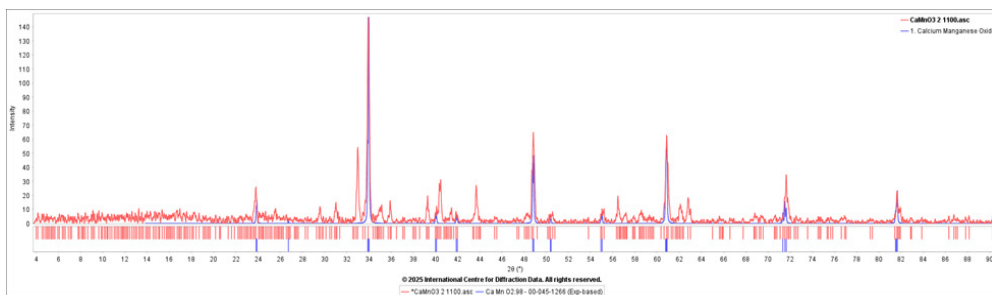
Печини және Жасыл синтез әдістерімен синтезделген перовскит құрылымы бар кальций манганиті туралы ақпараттарды өңдеу мақсатында екі үлгінің де элементтік құрамы мен кристалдық құрылымы рентгендік дифракциямен (XRD), Фурье инфрақызыл спектроскопиясымен (FTIR) және сканерлеуші электронды микроскоппен (SEM) сипатталды.

## Нәтижелер

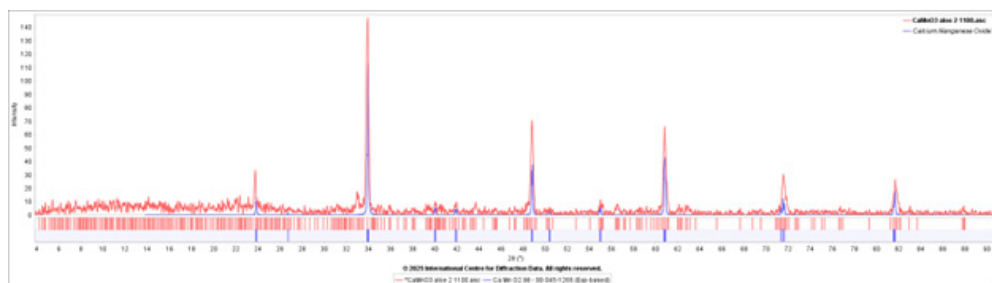
### Рентгендік фазалы (XRD) талдау нәтижелері

Үлгілердің кристалдық құрылымы мен фазалық құрамын анықтау үшін рентгендік дифракциялық талдау (XRD) жүргізілді. Бұл әдіс әртүрлі фазалардың болуын анықтай отырып, заттың ішкі атомдық құрылымын сипаттай алады. Талдауға  $\text{CuK}\alpha$  сәулесі қолданылды, өлшеу диапазоны  $2\theta = 3-120^\circ$ , өлшеу қадамы  $0,01-0,02^\circ$  және қадам уақыты 0.3-0.5 с.

Байқалған дифракциялық үлгіде әрбір сәуле белгілі бір кристалдық жазықтыққа сәйкес келетінін көрсетіледі. Сәулелер арқылы фазаның сәйкестігін анықтауға мүмкіндік бар. Сонымен қатар үлгінің тор параметрлері туралы ақпаратты да осы сәулелердің көмегімен алуға болады. Осы зерттеулерде алынған  $\text{CaMnO}_{2.98}$  үлгілерінің дифракциялық үлгілері PDF-5 дерекқорын пайдалану арқылы анықталды және фаза сәйкестігі мен құрылымдық параметрлері халықаралық стандарттарға сәйкестігі расталды.

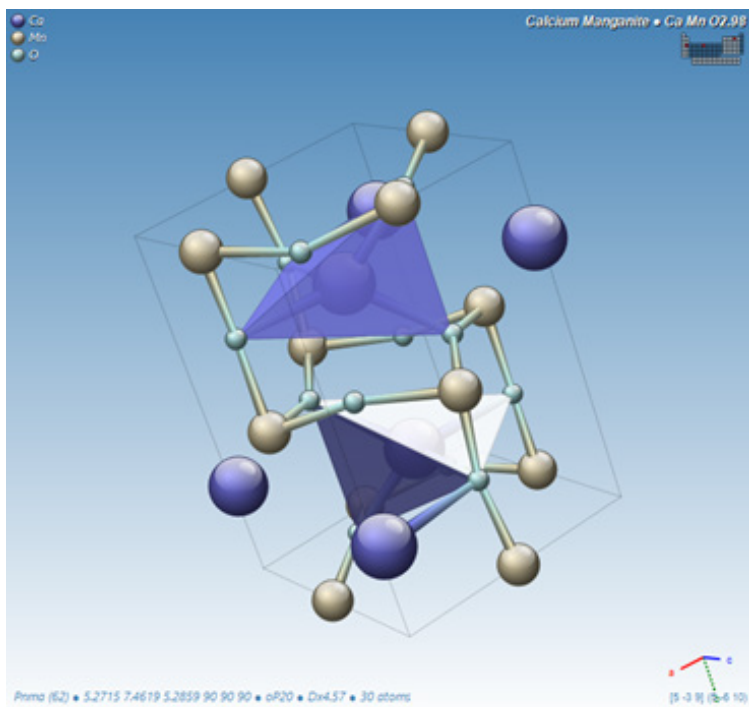


а)

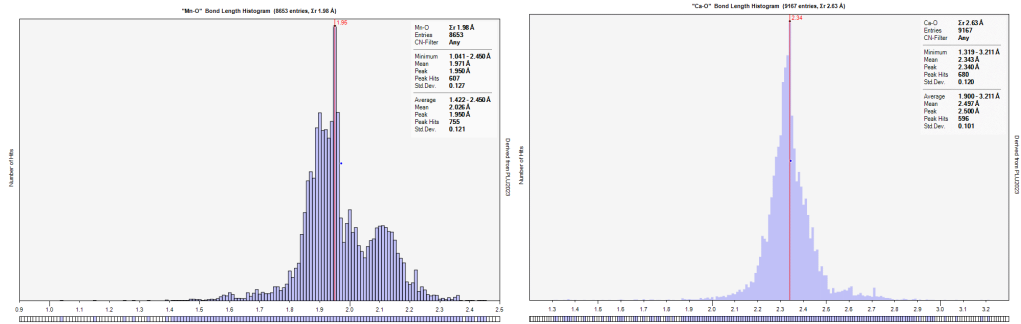


ә)

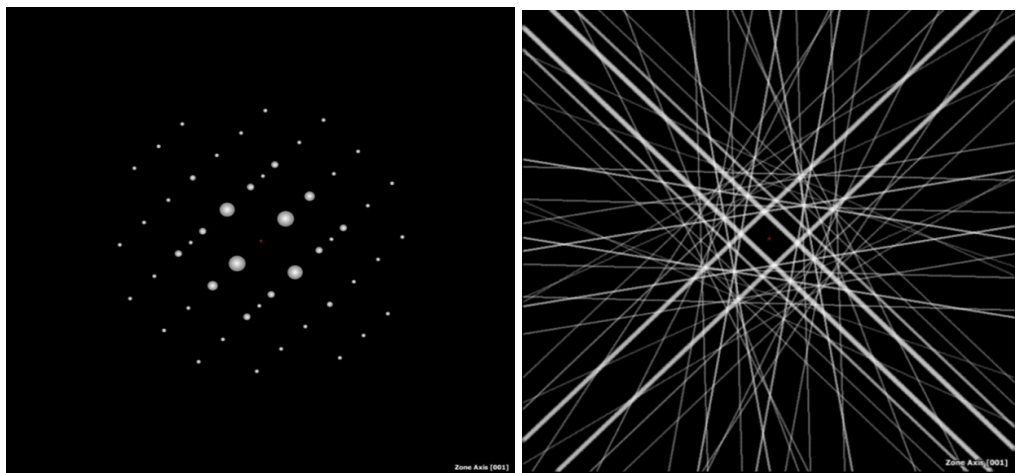
Сурет 3 - (а,ә) - Печини әдісімен (а) және Жасыл синтез әдісімен синтезделіп алынған (ә)  $\text{CaMnO}_{2.98}$  рентгенографиялық дифрактограммасы



Сурет 4 -  $\text{CaMnO}_{2.98}$  құрылымының кеңістіктегі бейнесі



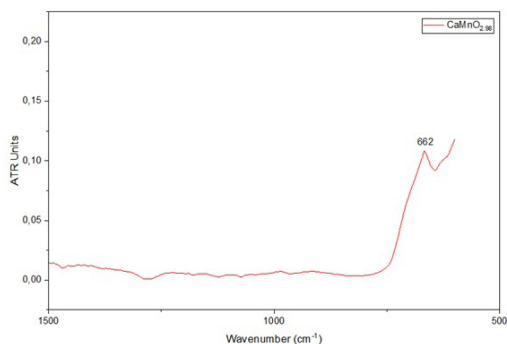
Сурет 5 - (а,ә) - а) Mn-O және ә) Ca-O арасындағы байланыс ұзындығының гистограммасы



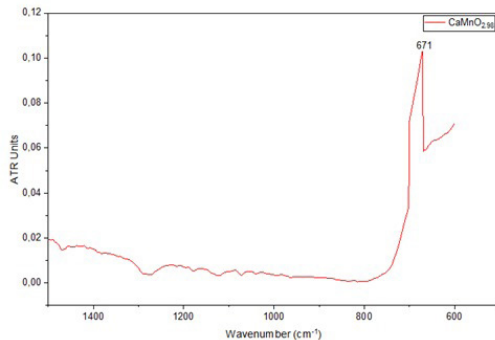
Сурет 6 - (а,ә) - CaMn<sub>2,98</sub> құрылымының (а) SAED Pattern және (ә) EBSD Pattern талдаулары

*Инфрақызыл спектроскопиялық (FTIR) талдау нәтижелері*

Инфрақызыл спектроскопия (FTIR) перовскит құрылымды кальций манганиті туралы ақпаратты жұтылған жиіліктер арқылы береді. Яғни оның көмегімен синтезделген үлгілердің химиялық құрылымын, функционалдық топтарын және металл-оттегі байланыстарын анықтауға болады. Зерттеу Bruker ALPHA спектрометрінде (Эттлинген, Германия) бөлме температурасында 1 см<sup>-1</sup> спектрлік арақашықтық арқылы жүргізілді. Осы арқылы тербеліс жиіліктері бойынша заттың функционалдық топтарын анықтауға мүмкіндік береді (7-сурет).



а)

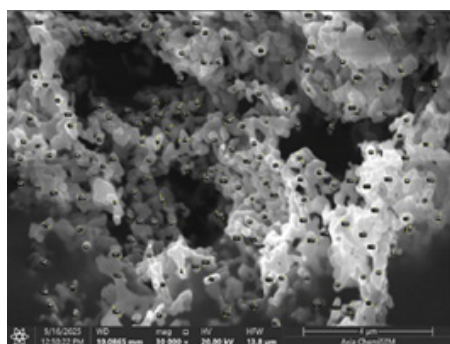


ә)

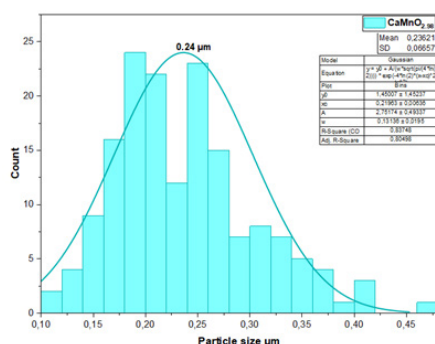
Сурет-7 (а,ә) - (а) Печини әдісімен және (ә) Жасыл синтез әдісімен синтезделген  $\text{CaMnO}_{2.98}$  қосылысының ИҚ спектрлері

*SEM-EDX әдісімен талдау нәтижелері*

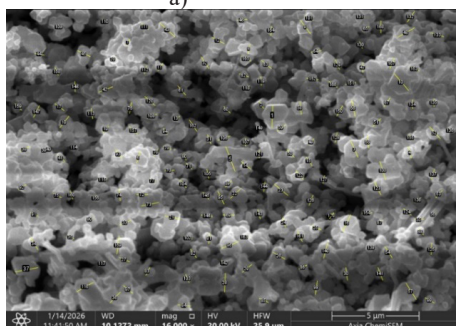
Сканерлеуші электронды микроскоп (SEM) арқылы қатты материалдың бетін өте жақын көрсететін дәрежеде үлкейту арқылы зерттеуге болады. Детектор арқылы тіркелген шашыраған электрондар осылай зерттеп алған үлгі туралы мәліметтер бере алады. Осы негізде  $\text{CaMnO}_{2.98}$  морфологиялық құрылымы сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM) көмегімен анықталды (8-сурет).



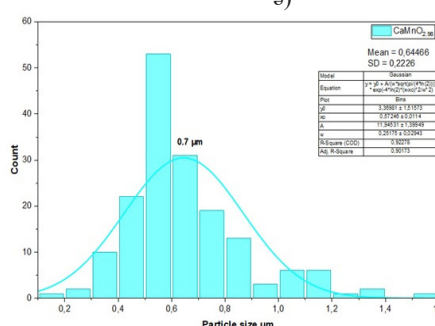
а)



ә)



б)



в)

Сурет-8 (а,ә,б,в) - Печини әдісі (а) және Жасыл синтез (б) арқылы алынған  $\text{CaMnO}_{2.98}$  сканерлеуші электрондық микросуреті, бөлшектер өлшемінің өзара таралу диаграммасы (ә), (в)

**Нәтижелерді талқылау***XRD нәтижелерін талқылау*

3(a, ә)-суреттерінде рентгендік дифракция нәтижелері үлгінің бір фазалы екенін анық көрсетеді. Нақты анықталған шыңдар материалдың жоғары кристалдық құрамын көрсетеді.

Кесте 2 – Фазалардың кристаллографиялық мәндері

Фаза атауы	Сингония түрі	a, Å	b, Å	c, Å	$V_{\text{ун}}^*$ , (Å <sup>3</sup> )	Z	Тығыздығы ( $\rho_{\text{рентг}}$ , г/см <sup>3</sup> )	Кеңістіктегі тобы
CaMnO <sub>2.98</sub>	орторомбты	5.27	7.46	5.28	207.92	4	4.55	Pnma
CaMnO <sub>2.98</sub>	орторомбты	5.28	5.26	7.45	207.24	4	4.56	Pnma

2-кестеде XRD кристаллографиялық мәндері арқылы алынған негізгі мәндер көрсетілген. Осы нәтижелер бойынша екі әдіспен алынған үлгілердің негізгі фазасы орторомбты сингонияға сәйкес химиялық формуласы бар CaMnO<sub>2.98</sub> қосылысы болып табылады. Печини әдісімен алынған үлгінің торлы параметрлері: қабырғаларының ұзындықтары a = 5.27 Å, b = 7.46 Å, c = 5.28 Å, бірлік ұяшық көлемі V = 207.92 Å<sup>3</sup>. Жасыл синтез арқылы алынған үлгіде бұл мәндер өзгерді және a = 5.28 Å, b = 5.26 Å, c = 7.45 Å, V = 207.24 Å<sup>3</sup> болды.

Бұл айырмашылық үлгінің кристалдық торының аздап тығыздалуымен және жасыл синтез процесі кезінде биологиялық реагенттер әсерінен болатын өзгерістермен түсіндіріледі. Сонымен қатар, дифракцияның екі үлгісінде де нақты шыңдар синтезделген материалдардың жақсы кристалданғанын көрсетеді. Кеңістіктік симметрия тобы Pnma, үлгілердің перовскит тәрізді құрылымын көрсетеді. Печини әдісімен синтезделген CaMnO<sub>2.98</sub> тығыздығы 4,55 г/см<sup>3</sup> құрайды, бұл жасыл синтез әдісімен алынған үлгінің мәніне жақын.

4-суретте көрсетілгендей, перовскит CaMnO<sub>2.98</sub> орторомбты құрылымға ие (Pnma кеңістік тобы). Кеңістікте Ca<sup>2+</sup> ионы Mn<sup>4+</sup> ионымен байланысқан. Тор ұяшықтары оттегі арқылы ортақ бұрышпен байланысып, тордың тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

5(a, ә)-суретінен көріп отырғанымыздай, CaMnO<sub>2.98</sub> перовскит құрылымын Mn-O және Ca-O байланыстары арқылы қарастырғанда, оның орторомбты тор құрылымы анық көрінеді.

Кесте 3 – CaMnO<sub>2.98</sub> перовскитіндегі Mn-O және Ca-O байланыстарының құрылымдық параметрлері

Байланыстар	Минимум мәні	Орташа шыңы	Шыңдардың саны	Стандартты ауытқуы
Mn-O	1.041 - 2.450 Å	1.971 Å	607	0.127
Ca-O	1.319 - 3.211 Å	2.343 Å	680	0.120

3-кестеде CaMnO<sub>2.98</sub> перовскит құрылымындағы Mn-O және Ca-O атомаралық өзара байланыстарының мәндік көрсеткіштері көрсетілген. Mn-O байланысының ұзындығы 1,041-ден 2.450 Å-ге дейінгі мәнді құраса, орташа шыңы 1.971 Å.

Төмен стандартты ауытқу (0,127) тордың аз деформацияларын көрсетеді. Ca-O байланысының ұзындығы 1.319-дан 3.211 Å-ге дейін, орташа шыңы 2.343 Å. Бұл  $\text{Ca}^{2+}$  иондарының перовскит торында әртүрлі координация ортасында екенін көрсетеді.

Ca-O байланыстары үшін салыстырмалы төмен стандартты ауытқу мәндері (0,120) тұрақтылықты көрсетеді. Негізінен, көрсетілген Mn-O және Ca-O байланыс параметрлері  $\text{CaMnO}_{2,98}$  перовскиттің жақсы қалыптасқан орторомбты құрылымын және оның жоғары кристалдық сапасын дәлелдейді.

б(а, ә)-суретте көрсетілгендей,  $\text{CaMnO}_{2,98}$  перовскиттің микроқұрылымы EBSD және SAED көмегімен зерттелді. EBSD талдауы материалдың таза перовскит екенін және ешқандай қосымша фазалардың жоқ екенін көрсетті. Граиндердің мөлшері 1–5 мкм болды, шекаралары анық, ал мүлдем басқаша сипаттағы граиндердің шекаралары мәні жағынан көбірек болды. Бұл жоғары кристалдылықты көрсетеді.

SAED дифракциялық үлгілері қабаттасатын шеңберлер  $\text{CaMnO}_{2,98}$  перовскиттің таза орторомбты (Pnma) құрылымының болуын растады. Олардың айқын көрінуі үлгінің жақсы кристалдылығын көрсетеді. SAED және EBSD нәтижелері  $\text{CaMnO}_{2,98}$  перовскитінің жоғары кристалдылыққа, таза фазалық құрамға ие екенін көрсетеді. Бұл қасиеттер оны катализаторларда, электрохимиялық құрылғыларда және басқа функционалдық материалдарда қолдануға жарамды етеді.

#### *FTIR нәтижелерін талқылау*

662  $\text{cm}^{-1}$  және 671  $\text{cm}^{-1}$  спектріндегі жұтылу жолақтары металл-оттегі байланыстарының тербелістері болып табылады. Бұл жиіліктер Ca-O, Mn-O байланыстарына тән болып, материалда сәйкес металл оксидтерінің түзілуін көрсетеді. Сонымен қатар, тербеліс жиіліктері металл иондарының оттегімен байланысуына сәйкес өзгеріске ұшырауы мүмкін.

#### *SEM-EDX нәтижелерін талқылау*

Морфология сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM) деректері арқылы талданды. Бұл деректердің талдамасында EDS жүйесі қолданылды. Алынған мәліметтер бойынша 4 мкм және 5 мкм беттік өлшемдер орташа бөлшектер өлшемі тиісінше 0,24 мкм және 0,7 мкм екенін көрсетті. Бөлшектердің салыстырмалы түрде біркелкі пішіні мен мөлшері алынған  $\text{CaMnO}_{2,98}$  құрылымының дұрыстығын көрсетеді.

**Қорытынды.** Бұл зерттеу жұмысында екі түрлі синтез әдістері арқылы перовскит құрылымынан тұратын  $\text{CaMnO}_{2,98}$  синтезделіп алынды. Сонымен қатар, оның құрылымдық және морфологиялық қасиеттері XRD, FTIR, SEM сияқты құрылғылар мен деретер базасы арқылы зерттелді. Синтез әдістері ретінде Печини золь-гель әдісі және Жасыл синтез әдісі қолданылды. Печини әдісі металл иондарын органикалық қосылыстармен (лимон қышқылы және этиленгликоль) комплекстеуге қолданылды. Нәтижесінде біркелкі гель түзуіліп, біртекті материал алынды. Экологиялық тұрғыдан таза әдіс ретінде Жасыл синтез әдісі қолданылды. Бұл әдісте алоэ сығындысы мен металл иондарын әрекеттестіру арқылы перовскит құрылымы бар  $\text{CaMnO}_{2,98}$  алынды.

Үлгілер XRD талдауынан өтіп, ол туралы мәліметтер арнайы нақты шыңдар

арқылы анықталды. Дифрактограммадағы шындрдың айқындығы синтезделіп алынған материалдың жоғары кристалдық сапада екендігін көрсетті. Бұл оның біртекті құрылымы бар екенін дәлелдейді. Кристалл құрылымын талдау барысында екі үлгі де орторомбты сингонияға жататыны анықталды. Печини әдісімен алынған үлгінің тор параметрлерінде кристалдық ұяшық қабырғаларының ұзындығы  $a = 5.27 \text{ \AA}$ ,  $b = 7.46 \text{ \AA}$ ,  $c = 5.28 \text{ \AA}$ , элементар ұяшықтың көлемі  $V = 207.92 \text{ \AA}^3$ , ал жасыл синтез кезінде алынған мәндер  $5.28 \text{ \AA}$ ,  $b = 5.26 \text{ \AA}$ ,  $c = 7.45 \text{ \AA}$ ,  $V = 207.24 \text{ \AA}^3$  құрады.

Mn–O байланыстары  $1.041\text{--}2.450 \text{ \AA}$  аралығында болды, орташа мәні  $1.971 \text{ \AA}$  және стандартты ауытқуы  $0.127$  құрады. Бұл  $\text{MnO}_6$  октаэдрлерінің тұрақтылығын көрсетеді. Ca–O байланыстары  $1.319\text{--}3.211 \text{ \AA}$  аралығында болды, орташа мәні  $2.343 \text{ \AA}$  және стандартты ауытқуы  $0.120$  болды. Осы мәндер тордағы  $\text{Ca}^{2+}$  иондарының тұрақтандырғыш рөлін көрсетеді. Бұл нәтижелер  $\text{CaMnO}_{2.98}$  перовскитінің орторомбты құрылымы тұрақты және жоғары кристалдық сапада екенін көрсетеді.

$\text{CaMnO}_{2.98}$  перовскитінің таза орторомбты фазаға сәйкес келетінін дәлелдеу мақсатында EBSD және SAED талдаулары жүргізілген болатын. Сонымен қатар, жоғары кристалдық сапасымен және біртекті микроқұрылымымен түзілгенін көрсетті. Түйіршіктердің өткір шекаралары құрылымдық тұрақтылықты көрсетеді. Алынған нәтижелер  $\text{CaMnO}_{2.98}$  перовскит каталитикалық, электрохимиялық және функционалдық қолдану үшін жақсы материал екенін дәлелдейді.

Морфологиялық талдау SEM көмегімен жүргізілді және бөлшектердің орташа өлшемі  $0.24 \text{ мкм}$  және  $0.7 \text{ мкм}$  екені анықталды. Үлгі бетіндегі элементтердің біркелкі таралуы алынған материалдың сәтті синтезін көрсетеді. FTIR талдауы кезінде спектрдегі  $662 \text{ см}^{-1}$  және  $671 \text{ см}^{-1}$  аймақтарында байқалған жолақтар металл-оттегі байланыстарының тербелістеріне сәйкес келді. Бұл жиіліктер материалдағы сәйкес металл оксидтерінің түзілуін көрсететін Ca–O, Mn–O байланыстарына тән.

Қорытындылай келе,  $\text{CaMnO}_{2.98}$  біртекті құрылымы мен ерекше морфологиялық қасиеттерінің арқасында энергетика және қоршаған орта салаларында қолдануға жарамды көп функционалды материал ретінде ерекшеленеді.

### References

- Abdel-Khalek E.K., Mohamed E.A., & Ismail Y.A.M. (2025) Study the role of oxygen vacancies and Mn oxidation states in nonstoichiometric  $\text{CaMnO}_{3-\delta}$  perovskite nanoparticles. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 113(2)7 — P. 461–472. <https://doi.org/10.1007/s10971-024-06632-1> (in English)
- Afre R.A., & Pugliese D. (2024) Perovskite Solar Cells: A Review of the Latest Advances in Materials, Fabrication Techniques, and Stability Enhancement Strategies. *Micromachines*, 15(2). — 192 p. <https://doi.org/10.3390/mi15020192> (in English)
- Andoulsi-Fezei R., & Horchani-Naifer K. (2023) Investigations on the electric and dielectric response in  $\text{CaMnO}_{3-\delta}$  perovskite. *Bulletin of Materials Science*, 46(3). — 177 p. <https://doi.org/10.1007/s12034-023-03018-x> (in English)
- Aswathy P.K., Ganga R., & N Rajendran D. (2022). Impact of A-site calcium on structural and electrical properties of samarium cobaltite perovskites. *Solid State Communications*, 350, 114748. <https://doi.org/10.1016/j.ssc.2022.114748> (in English)
- Badreldin A., Abusrafa A.E., & Abdel-Wahab A. (2020) Oxygen-deficient perovskites for oxygen evolution reaction in alkaline media: A review. *Emergent Materials*, 3(5). — P. 567–590. <https://doi.org/10.1007/s42247-020-00123-z> (in English)

- Duan T., Mora-Seró I., & Zhou Y. (2024) Introduction to Perovskite. In Y. Zhou & I. Mora Seró (Eds.), *Halide Perovskite Semiconductors* (1st ed., pp. 1–8). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527829026.ch1> (in English)
- Gastaldi J., Brorsson J., Hellman A., & Mattisson T. (2026) Electronic Structure and Defect-Induced Properties of Oxygen-Deficient  $\text{CaMnO}_{3-\delta}$ : Insights from First-Principles Calculations. *The Journal of Physical Chemistry C*, 130(4). — P. 1726–1735. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5c06816> (in English)
- Gubareva I.S., Gaan A.A., Belova O.V., Novozhenov V.A., Smagin V.P., Kalinin A.I., & Zatonskaya L.V. (2023) Sintez i kharakterizatsiya gallata gadoliniya perovskitnoy struktury: JZSKAR. [Synthesis and Characterization of Gadolinium Gallate with a Perovskite Structure: JZSKAR]. *Polzunovskiy Vestnik*, (2). — P. 238–244. (in Russian) <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.031> (in Russian)
- Kuganathan N., & Chronos A. (2021) Defect and dopant properties in  $\text{CaMnO}_3$ . *AIP Advances*, 11(5). — 055106 p. <https://doi.org/10.1063/5.0048401> (in English)
- Li X., Faust R., Purnomo V., Mei D., Linderholm C., Lyngfelt A., & Mattisson T. (2024) Performance of a perovskite-structured calcium manganite oxygen carrier produced from natural ores in a batch reactor and in operation of a chemical-looping combustion reactor system. *Chemical Engineering Journal*, 497. — 154516 p. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.154516> (in English)
- Löhnert R., & Töpfer J. (2022). Enhancing the thermoelectric properties of  $\text{CaMnO}_{3-\delta}$  via optimal substituent selection. *Journal of Solid State Chemistry*, 315, 123437. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2022.123437> (in English)
- Ma S., Min J., Zhou Y., Yang T., Zhao X., & Shih K. (2025) Beyond  $\text{CaMnO}_{3-\delta}$ : Unlocking Cation and Oxygen Vacancies and Potential Thermal Energy Storage in  $\text{Ca}(1-x)\text{Mn}_2\text{O}_{4-\delta}$ . *Materials Today Energy*, 53. — 102040 p. <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2025.102040> (in English)
- Nandan K.R., Lobo L.S., Murugesan G., Maruthi N., & Ruban Kumar A. (2022). Dielectric relaxation in  $\text{CaMnO}_3$  ceramics synthesized by sol–gel method. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 33(11). — P. 8355–8360. <https://doi.org/10.1007/s10854-021-06185-x> (in English)
- Nurhaziqah A.M.S., Afiqah I.Q., Hisam Abd. Aziz M.F., Aziz N.A.N., Zalani Daud M., Hasiah S., & Nurhayati I. (2020). Microstructure Study of Calcium Manganese Oxide ( $\text{CaMnO}_3$ ) as Perovskite Materials. *Journal of Physics: Conference Series*, 1535(1), 012024. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1535/1/012024> (in English)
- Pant M., & Mahapatro A.K. (2025) Giant dielectric constant in calcium manganese oxide ceramics. *Journal of Alloys and Compounds*, 1038. — 182875 p. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2025.182875> (in English)
- Pokutnyi S. & Gromovoy T. & Korochkova T. & Mashira V. & Moshkivska N. (2025) New possibilities for using perovskites for defense technologies. *Surface*. DOI: 17. 101 - 115. 10.15407/Surface.2025.17.101 (in English)
- Rosa J.P.M.M., Torres S.O.A., Thomazini D., & Gelfuso M.V. (2024) Microwave sintering of  $\text{CaMnO}_3$  thermoelectric perovskites synthesized by modified Pechini method. *Materials Science and Engineering: B*, 299, 116956. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2023.116956> (in English)
- Suresh S., Vindhya P.S., & Kavitha V.T. (2024) A comprehensive study of dielectric, magnetic and anticancerous properties of lanthanum manganite perovskite nanoparticles. *Journal of Alloys and Compounds*, 976, 173222. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.173222> (in English)
- Yu N., Nair M.M., & Mahinpey N. (2019) Structure and phase evolution of  $\text{CaMnO}_3$  perovskite during isothermal redox cycles. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 97(7). — P. 2131–2136. <https://doi.org/10.1002/cjce.23495> (in English)
- Zhao J.W., Li Y., Luan D., & Lou X.W. (David) (2024) Structural evolution and catalytic mechanisms of perovskite oxides in electrocatalysis. *Science Advances*, 10(39), eadq4696. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adq4696> (in English)

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

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

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

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The Central Asian Academic Research Center LLP follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

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

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

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

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

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

**[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)**

**<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>**

**ISSN 2518-1491 (Online), ISSN 2224-5286 (Print)**

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

Подписано в печать 31.03.2026.

Формат 60x88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
22,0 п.л. Заказ 1.