

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

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№3
2026**

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

2026 • 3



ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

Editor-in-Chief:

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

Editorial Board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES.

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

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

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

Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

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

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрыңұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ХҒАҚ және ҚР ҰҒА академигі, Мұнай өңдеу және мұнай-химиясы ғылыми-зерттеу институтының бас директоры (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960%2638>; <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакция ұжымы:

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

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

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

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

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

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

САНГ-СУ Квак, PhD (биохимия, агрохимия), профессор, Корея Биология және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), 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), (Джэон, 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

Aliuly A., Kaltayev A.

Aliuly A., Kaltayev A. Assessment of the Applicability of Similarity Laws for Centrifugal Pump Scaling Based on Hydrodynamic Modeling.....14

Baratov A.G., Sailaubek A., Serik A.S.

Synthesis and Investigation of a Narrow-Bandgap SrTaO₂N-Based Photocatalyst.....33

Nurbayev B., Dmitriyeva E., Kemelbekova A.

Modern Methods of Selective Lithium Leaching from Spent Lithium-Ion Batteries.....45

Seitov A., Amanzholov T.

Comparative Analysis of One-Dimensional Physical-Hydrodynamic Models of Centrifugal Flow in an Impeller for Mineralized Media.....60

Syzdykova A.M., Serikbayev N.S., Kutum B.B.

Local Kodama-Type Transformations and Integrability Limits of the Extended Fifth-Order Korteweg-de Vries Equation.....83

Ualikhanova U.A., Ussipkyzy T., Altayeva G.S., Razina O.V.

Calculation of the Screened $f(T)$ Gravity Model.....101

Zhadyranova A.A., Tsyba P.Yu., Ismail U.K., Yerzhan B.

Divergence-Free Deceleration Parameter, Kinematic Constraints from DESI DR2 and Cosmic Chronometers.....123

Zhenishan K., Bekov S.S., Syzdykova A.M.

The Influence of Gaussian Process Parameters on Reconstructing the Hubble Constant.....146

CHEMISTRY

Amangeldi B., Zhanikulov N., Taimasov B., Aitureev M., Dauletiyarov M.

Research of the Firing Processes and Whiteness of White Cement Clinkers.....155

Baisalova G.Zh., Bauyrzhanova G.B., Niyaz G.A., Taltenov A.A., Ainabayev A.A.

Study of the Chemical Composition of Ethanol Extracts of Lady's Mantle by Gas Chromatography-Mass Spectrometry.....169

Bishimbaev V.K., Kapsalyamov B.A.

Hydrogeochemical Indicators of Sulfuric-Acid Uranium Leaching Impact on Groundwater in Shieli and Zhanakorgan Districts.....183

Darmenbayeva A.S., Aubakirova R.A. Nurgaliyeva D.A., Abylkassova G.E., Abilmazhinova G.A.

Structural and Morphological Features of Polymer-Metal Functional Materials.....205

Dyusebaeva M.A., Berganayeva A.E., Ibragimova N.A., Utaraliev D.M., Berganayeva G.E.

Green synthesis of silver nanoparticles using the n-butanol fraction of Galega officinalis L.....223

Dyussembekova S.B., Utarova D.A., Kuspanov Zh.B., Daulbayev Ch.B., Abdikarimova U.A. Investigation of the Effect of SrTiO ₃ Heat Treatment on the Photocatalytic Efficiency of the \	
Decomposition of an Amphoteric Antibiotic.....	239
Issayeva U.B., Akhmetova G.S., Praliyev K.D., Malmakova A.E., Seilkhanov T.M. 1-Benzyl-4-(p-Fluorobenzoyloxyimino)Piperidine Hydrochloride as a Candidate for	
an Anti-Infective Agent.....	252
Kamunur K., Yskak M., Mussapyrova L. Effect of Chemical Modification of Sodium Lignosulfonate on Flotation Properties in the	
Barite – Calcite System.....	264
Kononov A., Kamunur K., Mussapyrova L., Assylkhanova D., Batkal A. Obtaining and Studying the Inorganic Flocculant Al–Fe–Mn Based on Modified Bentonite.....	276
Kurmangaliyeva A.1, Akhmetova F.2, Kareshova Zh.1, Iskakov R. PDMA-Modified Tagan Bentonite for Hydrogen Production in Catalytic Conversion	
of Hydrocarbons.....	292
Kurtebayeva A.A., Silvia Álvarez-Torrellas., Noor Haida Mohd Kaus., Gomes H.T., Kalmakhanova M.S. Corn-Cob-Derived Fe-Modified Activated Carbons for Paracetamol and Sulfamethoxazole	
Removal by Adsorption and Oxidative Treatment.....	307
Nadirov R.K., Nurtazina N.D., Ryskaliyeva R.G. Response Surface Modelling and Optimisation of Ilmenite Flotation Using a Modified	
Lignosulphonate Reagent.....	334
Nefedov A.N., Taikenova A.T., Imashev B.K., Nurislamov R.M., Leontyeva X. Quantum Computing in the Modeling of Corrosion Processes.....	350
Nurkenov O.A., Fazylov S.D., Syzdykov A.K., Kabiyeva S.K., Zhaslan R.K. Synthesis and Structural Study of 3,5-Dimethylisoxazole Sulfone Derivatives with Secondary	
Amines.....	365
Orazbekova R.S., Tungatarova S.A., Baizhumanova T.S., Kaumenova G.B., Zhumabek M. Influence of Reaction Mixture Composition in Steam Reforming of Bioethanol on a High-Entropy	
Oxide Catalyst.....	382
Ryskaliyeva R.G., L.K. Beisembayeva, Osserov T.B. Hydrocyclone Classification of Balkhash Processing Plant Tailings.....	398
Sass A.S., Torlopov I.I., Rakhmetova K.S., Kenzin E.N., Zhurinov M. Formation and Maturation of Phosphate Coatings on Steel from an Alcohol-Based	
Phosphating Solution.....	418
Sdikova G.Zh., Dalabayeva N.S., Balkembay A.S., Sarova N.B., Zhaltyrbayeva N.K. Effect of Electrolyte Formulation on the Characteristics of Zinc-Based	
Electroplated Coatings.....	435
Seitkaliyeva N., Kussainova G., Zhursumbayeva M., Mohamad Ibrahim M.N., Abdiyev K. Study of the Flocculation Properties of Itaconic Acid-Based Copolymers.....	448

Sergazina S.M., Nurmukhanbetova N.N., Ostretsova I.B., Kamze A.R., Kassenova N.B. Comprehensive Assessment of Natural Drinking Water Quality and Statistical Analysis of Physicochemical Parameters.....	460
Talgatkyzy A., Nazhipkyzy M., Otenov A., Seitkazinova A., Issanbekova A. Wood Waste-Derived Organosolv Lignin-Based Carbon Nanofibers For Energy Storage Applications.....	475
Toktabayeva A.K., Makhayeva D.N., Rakhmetullayeva R.K., Rvaidarova G.O., Issenova G.D. Synthesis, Structure, and Physicochemical Properties of Sulfur-Containing Composites Based on Aniline, p-Phenylenediamine, Phenol, and Formaldehyde.....	498
Yeshmanova G.B., Smagulov D.U. Effect of Silicon-Based Particles on the Formation and Composition of PEO Coatings.....	517
Zhortarova A.A., Kubicek V., Ibrayev M.K., Panshina S.Y., Seidakhmetova R.B. N-Phosphorylation of Amino-thiazoles and Amino-Thiadiazoles with P(III)- and P(V)-Reagents: Synthesis, Structure, and Biological Activity.....	538
Zhussupova A., Tyumentseva O., Antonyuk V. Comparative Study of the Kinetics and Energy Characteristics of Planetary Milling of Copper Smelting Dump Slag and Granulated Lead-Smelting Slag.....	552

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

Әлиұлы А., Калтаев А.

Гидродинамикалық модельдеу негізінде ортадан тепкіш сорғыларды масштабтауда ұқсастық заңдарының қолданылуын бағалау.....14

Баратов А.Ғ., Сайлаубек А., Серік А.С.

SrTaO_2N негізіндегі тар тыйым салынған аймақты фотокатализаторды алу және зерттеу.....33

Нұрбаев Б., Дмитриева Е., Кемелбекова А.

Пайдаланылған литий-ионды аккумуляторлардан литийді селективті шаймалаудың заманауи әдістері.....45

Сейтов А.Н., Аманжолов Т.Е.

Минералданған орталарға арналған жұмыс дөңгелегіндегі ортадан тепкіш ағыстың бірөлшемді физикалық–гидродинамикалық модельдерін салыстырмалы талдау.....60

Сыздыкова А.М., Серикбаев Н.С., Кутум Б.Б.

Кенетейлген бесінші ретті Кортевег-де Фриз тендеуінің локалды кодам типті түрлендіруі мен интегралдану шектері.....83

Уалиханова У.А., Үсіпқызы Т., Алтаева Г.С., Разина О.В.

Экрандалған $f(T)$ – гравитация моделінің есебі.....101

Жадыранова А.А., Цыба П.Ю., Исмаил Ү.Қ., Ержан Б.

Дивергенциясыз бәсеңдеу параметрі, DESI DR2 және космикалық хронометрлер деректері бойынша кинематикалық шектеулер.....123

Жеңіскан Қ., Беков С.С., Сыздыкова А.М.

Хаббл тұрақтысын реконструкциялауға Гаусстық процестер параметрлерінің әсері.....146

ХИМИЯ

Амангелді Б., Жаникулов Н., Таймасов Б., Айтүреев М., Даулетияров М.

Ақ цемент клинкерлерінің күйдіру процестерін және ақтығын зерттеу.....155

Байсалова Г.Ж., Бауыржанова Г.Б., Нияз Г.А., Талтенов А.А., Айнабаев А.А.

Газ хроматография-масс-спектрометрия әдісімен кәдімгі теңгежапырақ өсімдігінің этанолды сығындыларының химиялық құрамын зерттеу.....169

Бишимбаев В.К., Капсаямов Б.А.

Шиелі және Жаңақорған аудандарындағы уранды күкірт қышқылымен шаймалаудың жер асты суларына әсерінің гидрогеохимиялық көрсеткіштері.....183

Дарменбаева А.С., Аубакирова Р.А., Нурғалиева Д.А., Абылкасова Г.Е., Абильмажинова Г.А.

Полимер-металл функционалдық материалдардың құрылымдық-морфологиялық ерекшеліктері.....205

Дюсебаева М.А., Берганаева А.Е., Ибрагимова Н.А., Утаралиев Д.М., Берганаева Г.Е.

Galega officinalis L. өсімдігінің N-бутанолдық фракциясы арқылы күміс нанобөлшектерін жасыл синтездеу.....223

Дюсембекова С.Б., Утарова Д.А., Құспанов Ж.Б., Даулбаев Ч.Б., Әбдікәрімова Ұ.Ә. Термиялық өңделген SrTiO ₃ фотокатализаторларының екідайлы антибиотикті тиімді ыдыратуын зерттеу.....	239
Исаева Ұ.Б., Ахметова Г.С., Пірәлиев Қ.Ж., Малмакова А.Е., Сейлханов Т.М. Жұқпалы ауруларға қарсы кандидат ретінде 1-бензил-4-(П-фторбензоилоксиимино) пиперидин гидрохлориді.....	252
Қамұнұр Қ., Ысқақ М., Мусапирова Л. Барит–кальцит жүйесіндегі натрий лигносульфонатының флотациялық қасиеттеріне химиялық модификацияның әсері.....	264
Кононов А., Қамұнұр Қ., Мусапирова Л., Асылханова Д., Батқал А. Модификацияланған бентонит негізіндегі Al–Fe–Mn бейорганикалық флокулянтын алу және зерттеу.....	276
Қурманғалиева А.1, Ахметова Ф., Карешова Ж., Исаков Р. Көмірсутектердің каталитикалық конверсиясы арқылы сутек алуға арналған ПДМА-модификацияланған таған бентониті.....	292
Қуртебаева А.А., Álvarez-Torrellas S., Noor Haida Mohd Kaus., Gomes H.T., Калмаханова М.С. Жүгері собықтарынан алынған темірмен модификацияланған белсендірілген көмірлермен парацетамол мен сульфаметоксазолды адсорбциялық-тотығу жолымен жою.....	307
Надиров Р.К., Нуртазина Н.Д., Рыскалиева Р.Г. Модификацияланған лигносульфонатты реагентті қолдану арқылы ильменит флотациясының жауап бетін модельдеу және оңтайландыру.....	334
Нефедов А.Н., Тайекенова А.Т., Имашев Б.К., Нурисламов Р.М., Леонтьева К.А. Коррозиялық процестерді модельдеудегі кванттық есептеулер.....	350
Нүркенов О.А., Фазылов С.Д., Сыздықов А.К., Қабиева С.Қ., Жаслан Р.К. Екіншілік аминдермен 3,5-диметилизоксазолдың сульфотуындыларын синтездеу және құрылымдық зерттеу.....	365
Оразбекова Р.С., Тунгатарова С.А., Байжұманова Т.С., Кауменова Г.Б., Жұмабек М. Жоғары энтропиялық оксид катализаторы қатысында биоэтанолдың бу риформингісіне реакциялық қоспа құрамының әсері.....	382
Рыскалиева Р.Г., Бейсембаева Л.К., Осеров Т.Б. Балқаш байыту фабрикасының байыту қалдықтарын гидроциклондық классификациялау.....	398
Сасс А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Кензин Э.Н., Жұрынов М. Спирт негізіндегі фосфаттау ерітіндісінен болат бетінде фосфатты жабындардың қалыптасуы және жетілуі.....	418
Сдикова Г.Ж., Далабаева Н.С., Балкембай А.С., Сарова Н.Б., Жалтырбаева Н.К. Мырыш негізіндегі гальваникалық қаптамалардың қасиеттеріне электролит құрамының әсері.....	435

Сейтқалиева Н., Құсаинова Г., Жүрсімбаева М., Мохамад Ибрагим М.Н., Әбдиев Қ. Итакон қышылы негізіндегі сополимерлердің флокуляциялық қасиеттерін зерттеу.....	448
Сергазина С.М., Нұрмұханбетова Н.Н., Острцова И.Б., Камзе А.Р., Касенова Н.Б. Табиғи ауыз су сапасын кешенді бағалау және физика-химиялық көрсеткіштерге статистикалық талдау.....	460
Талгатқызы Ә., Нажиқызы М., Өтенов Ә., Сейтқазинаева Ә., Исанбекова А. Ағаш қалдықтарынан алынған органосольв лигнин негізіндегі көміртеккі талшықтарды энергия сақтау жүйелерінде қолдану.....	475
Тоқтабаева Ә.Қ., Махаева Д.Н., Рахметуллаева Р.Қ., Рвайдарова Г.О., Исенова Г.Д. Анилин, п-фенилендиамин, фенол және формальдегид негізіндегі күкіртқұрамды композиттердің синтезі, құрылымы және физика-химиялық қасиеттері.....	498
Ешманова Г.Б., Смағұлов Д.У. Кремний негізіндегі бөлшектердің ПЭО жабындарының қалыптасуы мен құрамына әсері.....	517
Жортарова А.А., Kubicek V., Ибраев М.Қ., Паньшина С.Ю., Сейдахметова Р.Б. Р(III) және Р(V) реагенттерімен аминотиазолдар мен аминок-тиадиазолдарды N-фосфорлирлеу: синтезі, құрылымы және биологиялық белсенділігі.....	538
Жусупова А., Тюменцева О., Антонюк В. Үйінді мыс балқыту шлагы мен қорғасын балқытудың түйіршіктелген шлагын планетарлық ұнтақтау кинетикасы мен энергетикасын салыстырмалы зерттеу.....	552

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Әлиұлы А., Калтаев А.

Оценка применимости законов подобия при масштабировании центробежных насосов на основе гидродинамического моделирования.....14

Баратов А.Г., Сайлаубек А., Серік А.С.Получение и исследование узкозонного фотокатализатора на основе SrTaO_2N33**Нұрбаев Б., Дмитриева Е., Кемелбекова А.**

Современные методы селективного выщелачивания лития из отработанных литий-ионных аккумуляторов.....45

Сейтов А.Н., Аманжолов Т.Е.

Сравнительный анализ одномерных физико-гидродинамических моделей центробежного течения в рабочем колесе для минерализованных сред.....60

Сыздыкова А.М., Серикбаев Н.С., Кутум Б.Б.

Локальные преобразование типа кодамы и пределы интегрируемости расширенного уравнения Кортевега-де Фриза пятого порядка.....83

Уалиханова У.А., Усипкызы Т., Алтаева Г.С., Разина О.В.Расчёт экранированной модели $f(T)$ -гравитации.....101**Жадыранова А.А., Цыба П.Ю., Исмаил У.Қ., Ержан Б.**

Дивергентно-свободный параметр замедления, кинематические ограничения по данным DESI DR2 и космических хронометров.....123

Женискан К., Беков С.С., Сыздыкова А.М.

Влияние параметров Гауссового процесса на реконструкцию постоянной Хаббла.....146

ХИМИЯ

Амангелди Б., Жаникулов Н., Таймасов Б., Айтурсев М., Даулетияров М.

Исследование процессов обжига и белизны клинкеров белых цементов.....155

Байсалова Г.Ж., Бауыржанова Г.Б., Нияз Г.А., Талтенов А.А., Айнабаев А.А.

Изучение химического состава этанольных экстрактов манжетки обыкновенной методом газ хроматографии-масс-спектрометрии.....169

Бишимбаев В.К., Капсалямов Б.А.

Гидрогеохимические индикаторы воздействия сернокислотного выщелачивания урана на подземные воды районов Шиели и Жанакоргана.....183

Дарменбаева А.С., Аубакирова Р.А., Нургалиева Д.А., Абылкасова Г.Е., Абилямажинова Г.А.

Структурно-морфологические особенности полимер-металлических функциональных материалов.....205

Дюсебаева М.А., Берганаева А.Е., Ибрагимова Н.А., Утаралиев Д.М., Берганаева Г.Е. Зеленый синтез серебряных наночастиц с использованием N-бутанольной фракции Galega officinalis L.....	223
Дюсембекова С.Б., Утарова Д.А., Куспанов Ж.Б., Даулбаев Ч.Б., Абдикаримова У.А. Исследование влияния термической обработки SrTiO ₃ на фотокаталитической эффективности разложения амфотерного антибиотика.....	239
Исаева У.Б., Ахметова Г.С., Пралиев К.Д., Малмакова А.Е., Сейлханов Т.М. Гидрохлорид 1-бензил-4-(п-фторбензоилоксиимино) пиперидина в качестве кандидата в противомикробное средство.....	252
Қамұнұр Қ., Ысқақ М., Мұсапирова Л. Влияние химической модификации лигносульфоната натрия на его флотационные свойства в системе барит–кальцит.....	264
Кононов А., Қамұнұр Қ., Мұсапирова Л., Асылханова Д., Батқал А. Получение и исследование неорганического флокулянта Al–Fe–Mn на основе модифицированного бентонита.....	276
Курмангалиева А., Ахметова Ф., Карешова Ж., Исаков Р. ПДМА-модифицированный таганский бентонит для получения водорода при каталитической конверсии углеводородов.....	292
Қуртебаева А.А., Álvarez-Torrellas S., Noor Haida Mohd Kaus., Gomes Н.Т., Калмаханова М.С. Модифицированные железом активированные угли из кукурузных початков для адсорбционно-окислительного удаления парацетамола и сульфаметоксазола.....	307
Надиров Р.К., Нуртазина Н.Д., Рыскалиева Р.Г. Моделирование поверхности отклика и оптимизация флотации ильменита с использованием модифицированного лигносульфонатного реагента.....	334
Нефедов А.Н., Тайекенова А.Т., Имашев Б.К., Нурисламов Р.М., Леонтьева К.А. Квантовые вычисления в моделировании коррозионных процессов.....	350
Нуркенов О.А., Фазылов С.Д., Сыздыков А.К., Кабиева С.К., Жаслан Р.К. Синтез и структурное исследование сульфопроизводных 3,5-диметилизоксазола совторичными аминами.....	365
Оразбекова Р.С., Тунгатарова С.А., Байжұманова Т.С., Кауменова Г.Б., Жұмабек М. Влияние состава реакционной смеси в паровом риформинге биоэтанола на высокоэнтропийном оксидном катализаторе.....	382
Рыскалиева Р.Г., Бейсембаева Л.К., Осеров Т.Б. Гидроциклонная классификация хвостов обогащения Балхашской обогажительной фабрики.....	398
Сасс А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Кензин Э.Н., Журинов М. Формирование и созревание фосфатных покрытий на стали из фосфатирующего раствора на основе спирта.....	418

Сдикова Г.Ж., Далабаева Н.С., Балкембай А.С., Сарова Н.Б., Жалтырбаева Н.К. Влияние состава электролита на свойства гальванических покрытий на основе цинка.....	435
Сейткалиева Н., Кусаинова Г., Журсумбаева М., Мохамад Ибрагим М.Н., Абдиев К. Исследование флокулирующих свойств сополимеров на основе итаконовой кислоты.....	448
Сергазина С.М., Нурмуханбетова Н.Н., Острцова Н.Б., Камзе А.Р., Касенова Н.Б. Комплексная оценка качества природной питьевой воды и статистический анализ физико-химических показателей.....	460
Талгаткызы А., Нажибкизы М., Отенов А., Сейтказинова А., Исанбекова А. Углеродные волокна на основе органосольв лигнина, полученного из древесных отходов, для применения в системах хранения энергии.....	475
Токтабаева А.К., Махаева Д.Н., Рахметуллаева Р.К., Рвайдарова Г.О., Исенова Г.Д. Синтез, структура и физико-химические свойства серосодержащих композитов на основе анилина, п-фенилендиамина, фенола и формальдегида.....	498
Ешманова Г.Б., Смагулов Д.У. Влияние частиц на основе кремния на формирование и состав ПЭО покрытий.....	517
Жортарова А.А., Kubicek V., Ибраев М.К., Панышина С.Ю., Сейдахметова Р.Б. N-фосфорилирование аминотиазолов и амино-тиадиазолов с помощью реагентов Р(III) и Р(V): синтез, структура и биологическая активность.....	538
Жусупова А., Тюменцева О., Антонюк В. Сравнительное исследование кинетики и энергетики планетарного измельчения отвального медеплавильного шлака и гранулированного шлака свинцовой плавки.....	553

ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES
ISSN 2224-5227
Volume 3.
Number 359 (2026), 264-275

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.475>

UDC: 622.765
IRSTI: 52.45.19

©Kamunur K.^{1,2}, Yskak M.^{1,2}, Mussapyrova L.^{1,2*}, 2026.

¹Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan;

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

*E-mail: m.lyazzat22@gmail.com

EFFECT OF CHEMICAL MODIFICATION OF SODIUM LIGNOSULFONATE ON FLOTATION PROPERTIES IN THE BARITE–CALCITE SYSTEM

Kamunur Kaster — PhD, Associate Professor, Senior Researcher, Institute of Combustion Problems; Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: kamunur.k@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-0013-1926>;

Yskak Magzhan — PhD student, Junior researcher, Institute of Combustion Problems; Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: magzhanyskak02@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2700-0881>;

Mussapyrova Lyazzat — PhD, Leading researcher, Institute of Combustion Problems; Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: m.lyazzat22@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9881-1324>.

Abstract. The present study investigates the effect of directed chemical modification of sodium lignosulfonate (Na-LS) on its physicochemical and flotation properties in the barite–calcite system. Three modification methods were applied: sulfonation with sulfuric acid (LS-S), oxidation with potassium permanganate (LS-O), and hydrophobization using stearic acid (LS-H). The obtained products were characterized by FTIR spectroscopy, thermogravimetric analysis (TGA), optical microscopy, measurements of surface tension, and ζ -potential analysis. FTIR results confirmed the formation of additional sulfonate, carbonyl, quinonoid, and hydrophobic functional groups depending on the modification route. TGA analysis revealed changes in thermal stability and the degree of structural degradation of the lignin matrix after chemical treatment. Optical microscopy demonstrated significant differences in particle morphology, aggregation state, and dispersion of the modified samples. Flotation tests were carried out using a model $\text{BaSO}_4/\text{CaCO}_3$ mixture (1:1). All modified lignosulfonates showed improved flotation performance compared with the initial Na-LS. The highest barite recovery was achieved for the oxidized sample LS-O (69.8%), whereas the highest selectivity was observed for the hydrophobized sample LS-H (80.4%). The improvement in flotation efficiency is associated with enhanced adsorption activity, donor–acceptor interactions

with Ba²⁺ active centers, and increased hydrophobic interactions on the mineral surface. The obtained results demonstrate the перспективность of chemically modified lignosulfonates as environmentally friendly flotation reagents for selective separation of barite-containing mineral systems.

Keywords: sodium lignosulfonate, chemical modification, sulfonation, oxidation, hydrophobization, flotation, barite, calcite

Funding: This research was conducted as part of the targeted funding program for the project IRN BR28713557, titled “Development of integrated technologies for processing ilmenite sands, barite ores and metal-containing waste to improve resource efficiency in the mining, metallurgical and construction industries of Kazakhstan”.

For citations: Kamunur K., Yskak M., Mussapyrova L. Effect of Chemical Modification of Sodium Lignosulfonate on Flotation Properties in the Barite – Calcite System. Academic Journal of Physical and Chemical Sciences. 2026. No.3. Pp. 264-275. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.475>

©Қамұнұр Қ.^{1,2}, Ысқақ М.^{1,2}, Мусапирова Л.^{1,2*}, 2026.

¹Жану проблемалары институты, Алматы, Қазақстан;

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

*E-mail: m.lyazzat22@gmail.com

БАРИТ–КАЛЬЦИТ ЖҮЙЕСІНДЕГІ НАТРИЙ ЛИГНОСУЛЬФОНАТЫНЫҢ ФЛОТАЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ХИМИЯЛЫҚ МОДИФИКАЦИЯНЫҢ ӘСЕРІ

Қамұнұр Қастер — PhD, қауымдастырылған профессор, жетекші ғылыми қызметкер, Жану проблемалары институты; әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, E-mail: kamunur.k@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-0013-1926>;

Ысқақ Мағжан — PhD студент, кіші ғылыми қызметкер, Жану проблемалары институты; әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, E-mail: magzhanyskak02@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2700-0881>;

Мусапирова Ляззат — PhD, жетекші ғылыми қызметкер, Жану проблемалары институты; әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, E-mail: m.lyazzat22@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9881-1324>.

Аннотация. Жұмыста натрий лигносульфонатын (Na-ЛС) мақсатты химиялық модификациялаудың оның «барит–кальцит» жүйесіндегі физика-химиялық және флотациялық қасиеттеріне әсері зерттелді. Модификация үш түрлі әдіспен жүргізілді: күкірт қышқылымен сульфирлеу (LS-S), калий перманганатымен тотықтыру (LS-O) және стеарин қышқылымен гидрофобизациялау (LS-H). Алынған өнімдер ИҚ-Фурье-спектроскопия, термогравиметриялық талдау, оптикалық микроскопия, беттік керілу мен ζ-потенциалды өлшеу әдістерімен зерттелді. ИҚ-спектроскопиялық зерттеулер химиялық өңдеу түріне байланысты қосымша сульфонаттық, карбонилдік, хиноидтық және гидрофобтық

функционалдық топтардың түзілетінін көрсетті. Термогравиметриялық талдау нәтижелері модификациядан кейін лигнин матрицасының термотұрақтылығы мен құрылымдық деструкция дәрежесінің өзгеретінін анықтады. Оптикалық микроскопия бөлшектер морфологиясында, агрегация дәрежесінде және дисперстілігінде елеулі айырмашылықтардың бар екенін көрсетті. Флотациялық сынақтар барит (BaSO_4) пен кальциттің (CaCO_3) 1:1 қатынасындағы модельдік қоспасында жүргізілді. Барлық модификацияланған үлгілер бастапқы Na-ЛС-пен салыстырғанда жоғары флотациялық тиімділік көрсететіні анықталды. Бариттің ең жоғары алынуы LS-O үлгісінде байқалып, 69,8 %-ды құрады, ал ең жоғары селективтілік LS-H үлгісінде анықталды (80,4 %). Флотациялық тиімділіктің артуы реагенттердің адсорбциялық белсенділігінің жоғарылауымен, Ba^{2+} белсенді орталықтарымен донорлы-акцепторлы әрекеттесулердің түзілуімен және минерал бетінде гидрофобтық әрекеттесулердің күшеюімен байланысты. Алынған нәтижелер химиялық модификацияланған лигносульфонаттарды баритқұрамды минералдық жүйелерді селективті флотациялауға арналған экологиялық қауіпсіз реагенттер ретінде қолданудың перспективті екенін көрсетеді.

Түйін сөздер: натрий лигносульфонаты, химиялық модификация, флотация, барит, кальцит, гидрофобизация, тотықтыру

©Қамұнұр Қ.^{1,2}, Ысқақ М.^{1,2}, Мусапирова Л.^{1,2*}, 2026.

¹Институт проблем горения, Алматы, Казахстан;

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

*E-mail: m.lyazzat22@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ ЛИГНОСУЛЬФОНАТА НАТРИЯ НА ЕГО ФЛОТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА В СИСТЕМЕ БАРИТ–КАЛЬЦИТ

Қамұнұр Қастер — PhD, ассоциированный профессор, ведущий научный сотрудник, Институт проблем горения; Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан, E-mail: kamunur.k@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-0013-1926>;

Ысқақ Мағжан — PhD студент, младший научный сотрудник, Институт проблем горения; Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан, E-mail: magzhanyskak02@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2700-0881>;

Мусапирова Ляззат — PhD, ведущий научный сотрудник, Институт проблем горения; Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан, E-mail: m.lyazzat22@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9881-1324>.

Аннотация. В работе представлены результаты направленной химической модификации технического лигносульфоната натрия (Na-ЛС) тремя различными методами: сульфированием серной кислотой (LS-S), окислением перманганатом калия (LS-O) и гидрофобизацией стеариновой кислотой (LS-H). Целью исследования являлось изучение влияния химической модификации на физико-химические и флотационные свойства лигносульфонатных реагентов в модельной системе «барит–кальцит». Полученные продукты были охарактеризованы методами ИК-

Фурье-спектроскопии (FTIR), термогравиметрического анализа (ТГА), оптической микроскопии, измерений поверхностного натяжения и ζ -потенциала. Результаты ИК-спектроскопии подтвердили образование дополнительных сульфонатных, карбонильных, хиноидных и гидрофобных функциональных групп в зависимости от типа химической обработки. Термогравиметрический анализ показал изменение термостабильности и степени структурной деструкции лигниновой матрицы после модификации. Оптическая микроскопия выявила существенные различия в морфологии частиц, степени агрегации и дисперсности образцов. Флотационная активность реагентов оценивалась на модельной смеси барита (BaSO_4) и кальцита (CaCO_3) в соотношении 1:1. Установлено, что все виды химической модификации способствуют повышению флотационной эффективности по сравнению с исходным Na-ЛС. Максимальное извлечение барита достигнуто для окисленного образца LS-O (69,8 %), тогда как наибольшая селективность наблюдалась для гидрофобизированного образца LS-H (80,4 %). Повышение эффективности связано с усилением адсорбционной активности реагентов, формированием дополнительных донорно-акцепторных взаимодействий с активными центрами Ba^{2+} и усилением гидрофобных взаимодействий на поверхности минералов. Установлены взаимосвязи между химической структурой модифицированных лигносульфонатов, их поверхностно-активными свойствами и флотационными показателями. Полученные результаты демонстрируют перспективность химически модифицированных лигносульфонатов в качестве экологически безопасных реагентов для селективной флотации баритсодержащих минеральных систем.

Ключевые слова: лигносульфонат натрия, химическая модификация, сульфирование, окисление, гидрофобизация, флотация, барит, кальцит

Введение. Лигносульфонаты (ЛС) образуются как многотоннажный побочный продукт сульфитной варки целлюлозы: при делигнификации древесины лигнин переходит в раствор в виде сульфированных макромолекул, которые после упарки щёлоков выделяют в форме натриевых, кальциевых или аммониевых солей. Благодаря доступности, низкой стоимости и возобновляемой природе ЛС представляют интерес как сырьё для получения водорастворимых анионных полиэлектролитов, в том числе реагентов для флотационного обогащения (Gutierrez et al., 2020; Yu et al., 2025).

Молекула лигносульфоната представляет собой разветвлённый полимер на основе фенилпропановых структурных единиц, содержащий сульфонатные, карбоксильные, фенольные, метоксильные и карбонильные группы. Такое сочетание функциональных центров создаёт предпосылки для адсорбции ЛС на минеральных поверхностях за счёт ионного обмена, хелатирования катионных центров, водородного связывания и гидрофобных взаимодействий (Guo et al., 2022). При этом молярная масса ЛС может изменяться в широком диапазоне - от 1 000 до 140 000 г/моль, что дополнительно влияет на их коллоидно-химические свойства и поведение на границе раздела «минерал–вода».

В исходном состоянии ЛС, как правило, проявляют слабые собирательные свойства. Высокая плотность сульфонатных групп обеспечивает хорошую растворимость и устойчивость к коагуляции, но одновременно препятствует формированию гидрофобного адсорбционного слоя, необходимого для закрепления пузырьков воздуха на поверхности минерала. Поэтому немодифицированные ЛС чаще действуют как диспергаторы и стабилизаторы суспензий, а не как эффективные собиратели (Guo et al., 2022; Wu et al., 2025; Liu et al., 2020; Feng et al., 2022). Для придания им флотационной активности требуется направленная химическая модификация, позволяющая изменить баланс между полярными и неполярными фрагментами макромолекулы.

В литературе выделяют несколько подходов к такой модификации. Сульфирование минеральными кислотами позволяет регулировать анионный характер молекулы, её заряд и конформацию адсорбционного слоя (Aro and Fatehi, 2017; Li et al., 2019). Окисление агентами типа H_2O_2 , KMnO_4 или O_3 приводит к образованию дополнительных карбонильных и хиноидных структур, способных участвовать в донорно-акцепторных взаимодействиях с катионными центрами минеральной поверхности (Pang et al., 2008; Zhang et al., 2013; Ksenofontova et al., 2007). Наконец, введение гидрофобных фрагментов путём конденсации с жирными кислотами, аминами или фенолами позволяет непосредственно усилить неполярный характер молекулы и повысить её способность к гидрофобизации минералов (Ruwoldt, 2020; Askvik et al., 2001; Musl et al., 2021). Таким образом, модификация ЛС открывает возможность целенаправленного управления их адсорбционными и флотационными свойствами.

В настоящей работе проведено сравнительное исследование трёх продуктов химической модификации Na-ЛС: образца, полученного сульфированием (LS-S), образца, окисленного перманганатом калия (LS-O), и образца, гидрофобизированного стеариновой кислотой (LS-H). Цель работы - установить связь между типом химической модификации ЛС, их поверхностно-активными свойствами и флотационной эффективностью в модельной системе «барит–кальцит». В качестве модельной системы для оценки эффективности модифицированных ЛС в настоящей работе выбрана пара «барит–кальцит». Разделение BaSO_4 и CaCO_3 является типичной сложной задачей флотации несulfидных солевых минералов. Оба минерала имеют катионные активные центры - Ba^{2+} и Ca^{2+} , близкие поверхностные свойства и отрицательный ζ -потенциал в нейтральной области pH (Penaloza et al., 2023; Xiong et al., 2020). В этой связи выбранная система является удобной моделью для оценки селективности модифицированных ЛС, поскольку позволяет проследить, как изменение функционального состава макромолекулы влияет на её взаимодействие с близкими по поверхностным свойствам, но различающимися по природе катионных центров минералами.

Материалы и методы. В качестве исходного вещества использовали технический лигносульфонат натрия (Na-ЛС, образец LS-0). Химическую модификацию проводили по трём схемам:

- LS-S (сульфирование): H_2SO_4 (10 %), pH 1,5, $T = 85^\circ\text{C}$, $\tau = 1$ ч; нейтрализация 10 % NaOH до pH 7, сушка при 60°C ;
- LS-O (перманганатное окисление): KMnO_4 (0,02 M), pH 5,0, $T = 65^\circ\text{C}$, $\tau = 1$ ч;
- LS-H (алкильная гидрофобизация): конденсация Na-ЛС со стеариновой кислотой (0,20 моль/моль ЛС), NaOH (5 %), $T = 85^\circ\text{C}$, $\tau = 1,5$ ч, pH = 8,5.

Продукты промывали дистиллированной водой и сушили при 60°C . Характеризацию осуществляли методами: ИК-спектроскопия (Bruker, метод ATR); ТГА (STA 449 F3-Jupiter, нагрев $10^\circ\text{C}/\text{мин}$, атмосфера воздуха); оптическая микроскопия (поляризационный микроскоп, $\times 200$); элементный анализ (C, H, S); поверхностное натяжение γ (сталагмометрия, 0,1 % p-p); ζ -потенциал (электрофоретическое рассеяние суспензии барита, pH 7,0).

Флотационные испытания проводились на смеси $\text{BaSO}_4/\text{CaCO}_3$ (1:1, $d < 0,1$ мм) в механической флотомашине (1 дм^3 , 20 % тв.), реагент 0,1–0,3 кг/т, вспениватель сосновое масло (50 г/т), pH = $7 \pm 0,2$. Показатели: извлечение барита η (%) и селективность S (%).

Результаты и обсуждение. ИК-спектроскопия: ИК-спектр исходного Na-ЛС (рисунок 1) демонстрирует ряд характеристических полос: широкая полоса $3400\text{--}3420\text{ см}^{-1}$ (валентные колебания O–H фенольных и карбоксильных групп), пик 2920 см^{-1} (C–H метиленовых фрагментов), интенсивные полосы в области $1600\text{--}1510\text{ см}^{-1}$ (ароматические C=C связи лигнинового ядра). В диапазоне $1210\text{--}1040\text{ см}^{-1}$ — полосы S=O и C–O–S сульфонатных групп; при $620\text{--}640\text{ см}^{-1}$ — деформационные колебания арил-S связей.

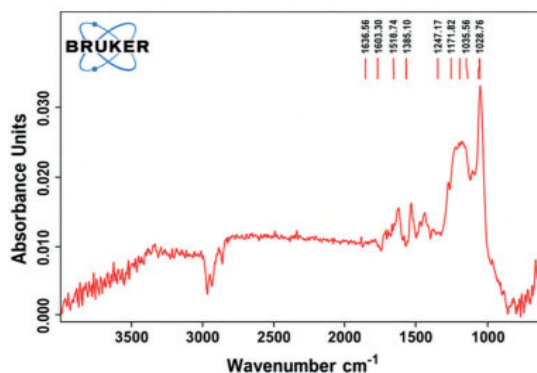


Рисунок 1. ИК-спектр исходного лигносульфоната натрия (LS-O).

После глубокого сульфирования (LS-S, рисунок 2а) наблюдается выраженное усиление полос в области $1220\text{--}1040\text{ см}^{-1}$, соответствующих колебаниям S=O и C–O–S связей, что подтверждает присоединение новых $-\text{SO}_3\text{H}$ -групп. Одновременно снижается интенсивность ароматических полос при $1600\text{--}1510\text{ см}^{-1}$ вследствие экранирования ароматического ядра протонированными группами. В зоне $3400\text{--}3420\text{ см}^{-1}$ наблюдается уширение полосы O–H, отражающее образование дополнительных гидроксильных и протонированных сульфонатных центров.

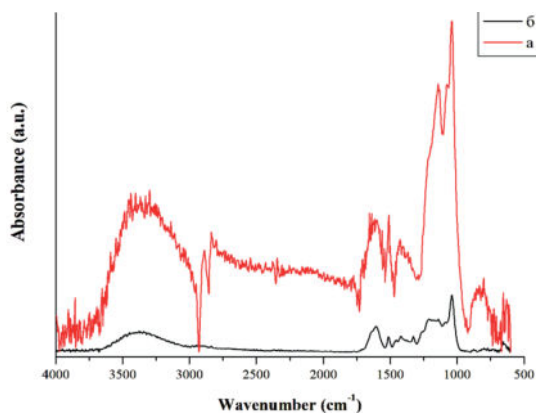


Рисунок 2. ИК-спектр Na-ЛС: а – после глубокого сульфирования (LS-S); б – после окислительной модификации (аналог LS-O).

Окислительная модификация (рисунок 2б) приводит к появлению новых полос при 1710–1730 cm^{-1} , характерных для карбонильных групп $\text{C}=\text{O}$. Одновременно снижается интенсивность ароматических $\text{C}=\text{C}$ полос при 1600–1510 cm^{-1} - признак частичной деструкции ароматического остова. Усиление пиков в диапазоне 1220–1040 cm^{-1} связано с образованием новых $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ и $\text{S}=\text{O}$ связей. Совокупность этих изменений подтверждает мягкое окислительное расщепление боковых цепей лигнина с формированием полярных реакционноспособных структур.

Термогравиметрический анализ: ТГА-кривая исходного Na-ЛС (рисунок 3) показывает две чётко выраженные стадии потери массы. Первая (30–220 $^{\circ}\text{C}$) соответствует удалению адсорбированной влаги и летучих компонентов (~17 % масс.). Вторая стадия (220–460 $^{\circ}\text{C}$) отражает термодеструкцию органической матрицы и распад сульфонатных и фенольных структур (~27 % масс.). После 460 $^{\circ}\text{C}$ формируется термостабильный углеродистый остаток, сохраняющийся до 700 $^{\circ}\text{C}$. Общая потеря массы составляет около 43 %, что свидетельствует о высокой доле конденсированных ароматических фрагментов.

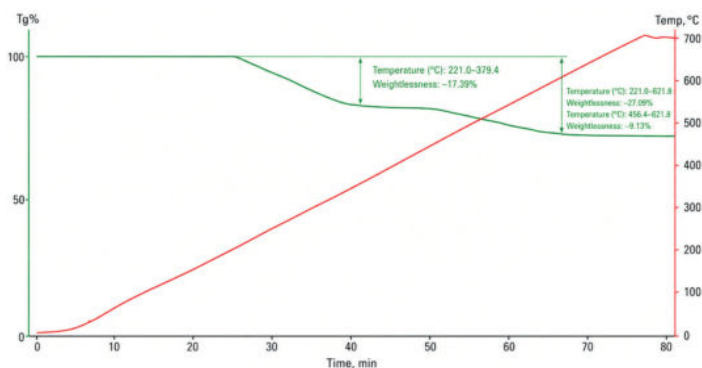


Рисунок 3. Термогравиметрическая кривая исходного Na-ЛС (LS-1).

После окислительной обработки (рисунок 4) потеря массы на второй стадии (200–450 °C) возрастает до ~53 %, что свидетельствует о снижении термостабильности вследствие частичного окислительного разрушения ароматических фрагментов и увеличения доли деструктурированных фенольных и карбоксильных структур. Это коррелирует с данными ИК-спектроскопии - появлением полос C=O и ослаблением ароматических полос - и косвенно подтверждает образование хиноидных центров.

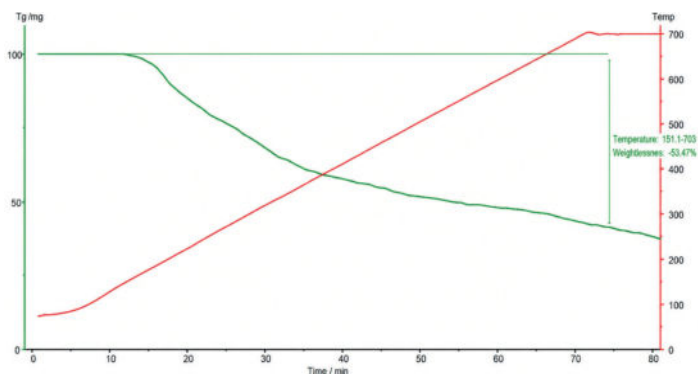


Рисунок 4. Термогравиметрическая кривая Na-ЛС после окислительной модификации (аналог LS-O).

Оптическая микроскопия: Исходный Na-ЛС (рисунок 5) представляет собой аморфные агрегаты с неравномерным распределением фаз и выраженной поверхностной неоднородностью; характерны крупные конгломераты с размытыми межфазными границами.

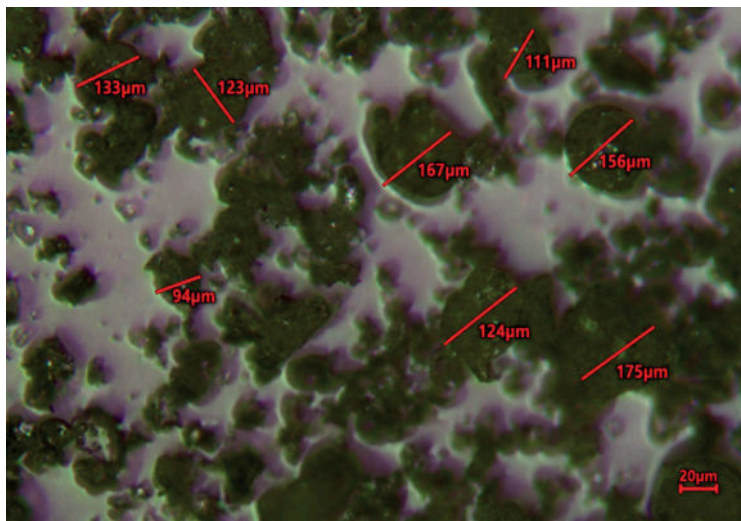


Рисунок 5. Оптическая микрофотография исходного Na-ЛС (LS-1).

После сульфирования (рисунок 6) наблюдается выраженное диспергирование: агрегаты приобретают более мелкий и равномерный размер, граница раздела фаз становится чёткой. Это согласуется с ростом гидрофильности и усилением анионного характера поверхности за счёт новых $-\text{SO}_3\text{H}$ -групп, что способствует лучшему набуханию и пептизации частиц в водной среде.

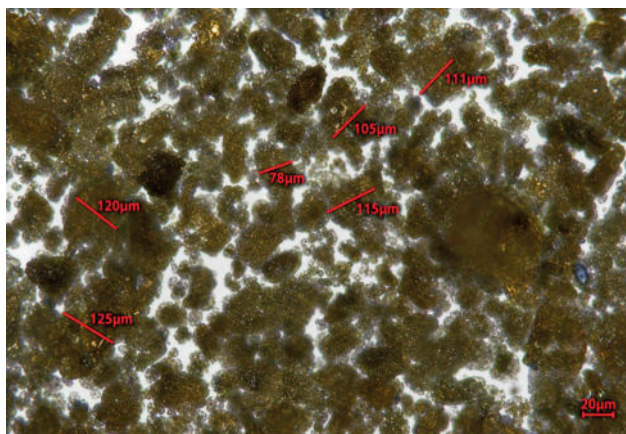


Рисунок 6. Оптическая микрофотография Na-ЛС после сульфирования (LS-S).

При окислительной обработке (рисунок 7) формируется более тёмная дисперсная фаза с неоднородной окраской отдельных зёрен - проявление хромофорных свойств хиноидных структур. Размерная фракция частиц снижается, поверхность приобретает повышенную реакционную способность, что согласуется с данными ИК-спектроскопии и ТГА.

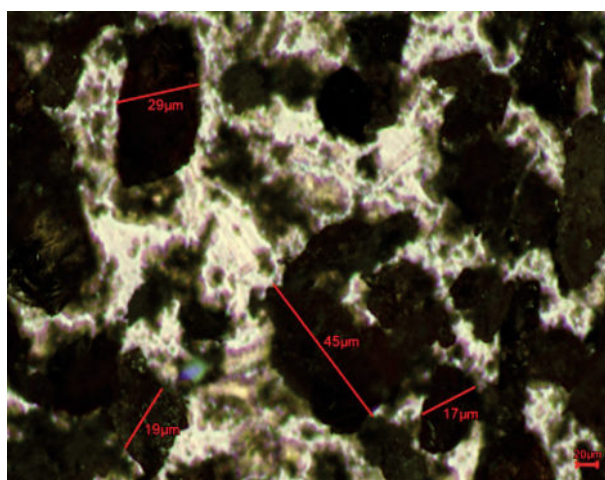


Рисунок 7. Оптическая микрофотография Na-ЛС после окислительной обработки (аналог LS-O).

Поверхностное натяжение и ζ -потенциал: Результаты измерений поверхностного натяжения и ζ -потенциала приведены в таблице 1. Все модифицированные образцы характеризуются снижением γ по сравнению с исходным Na-ЛС (52,8 мН/м), что свидетельствует о возрастании поверхностной активности. Одновременно растёт по модулю ζ -потенциал частиц барита, указывая на более плотную адсорбцию анионных групп реагента на поверхности BaSO_4 .

Таблица 1. Поверхностное натяжение и ζ -потенциал модифицированных лигносульфонатов.

Образец	Тип модификации	γ , мН/м	$\Delta\gamma$, %	ζ -потенциал, мВ
LS-1	Исходный Na-ЛС	52,8	-	-18
LS-S	Глубокое сульфирование	42,7	-19	-29
LS-O	Перманганатное окисление	40,9	-22	-31
LS-H	Алкильная гидрофобизация	38,6	-27	-23

Наименьшее значение γ (38,6 мН/м) и наибольшее снижение (27 %) достигнуты для LS-H1: длинноцепочечные алкильные радикалы стеариновой кислоты ориентируются на границе раздела фаз, обеспечивая выраженный поверхностно-активный эффект. Для LS-O наблюдается наибольший по модулю ζ -потенциал (-31 мВ), свидетельствующий о формировании плотного адсорбционного слоя карбонильных и хиноидных групп, активно взаимодействующих с ионами Ba^{2+} .

Флотационные показатели: Результаты флотационных испытаний при оптимальных условиях использования каждого реагента приведены в таблице 2.

Таблица 2. Флотационные показатели в системе «барит–кальцит».

Образец	Тип модификации	Условия синтеза реагента	η (BaSO_4), %	S, %
LS-1	Исходный Na-ЛС	-	48,3	62,5
LS-S	Сульфирование	H_2SO_4 10 %; pH 1,5; 85 °C; 1 ч	65,1	73,8
LS-O	Перманганатн. окисл.	KMnO_4 0,02 М; pH 5,0; 65 °C; 1 ч	69,8	79,6
LS-H	Гидрофобизация	$\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$ 0,20 м/м; pH 8,5; 85 °C	67,3	80,4

Исходный Na-ЛС демонстрирует низкую флотационную эффективность (η = 48,3 %, S = 62,5 %) - следствие недостаточного соотношения гидрофобных и гидрофильных участков молекулы. Все три вида модификации обеспечивают существенное улучшение обоих показателей. Максимальное извлечение барита достигнуто для LS-O2 (69,8 %): карбонильные и хиноидные группы обеспечивают высокую адсорбционную активность за счёт донорно-акцепторных взаимодействий с ионами Ba^{2+} на поверхности BaSO_4 . Наибольшая селективность — у LS-H (S = 80,4 %): длинноцепочечные алкильные радикалы формируют гидрофобный монослой на барите, тогда как кальцит, обладающий амфотерной поверхностью с более слабыми кислотными центрами Ca^{2+} , адсорбирует реагент значительно хуже и остаётся гидрофильным. Сульфирование (LS-S) занимает промежуточное положение, обеспечивая стабильный и воспроизводимый результат при наиболее простом технологическом оформлении. В целом наблюдается чёткая корреляция между характеристиками реагента и флотационными показателями: высокий

ζ -потенциал $\rightarrow$ высокое извлечение; низкое поверхностное натяжение при умеренном заряде $\rightarrow$ высокая селективность. Это подтверждает, что оба параметра управляют разными аспектами флотационного процесса и их совместная оптимизация — задача для следующего этапа работ.

Заключение. Выполненное исследование показало, что направленная химическая модификация лигносульфоната натрия изменяет его структурно-функциональные свойства и повышает эффективность как реагента для селективной флотации в модельной системе барит–кальцит. По данным ИК-спектроскопии, термогравиметрического анализа, оптической микроскопии, измерений поверхностного натяжения и ζ -потенциала установлено, что сульфирование, окисление перманганатом калия и щелочная гидрофобизация приводят к формированию различного набора активных центров, ответственных за взаимодействие реагента с поверхностью минералов. Наиболее выраженные изменения наблюдаются при окислительной обработке и щелочной гидрофобизации: в структуре реагента возрастает вклад карбонильных, хиноидных и гидрофобных фрагментов, усиливается диспергирование частиц, снижается поверхностное натяжение и изменяется зарядовое состояние макромолекул.

Флотационные испытания подтвердили, что модифицированные лигносульфонаты обеспечивают более высокую селективность разделения барита и кальцита по сравнению с исходным Na-ЛС. Исходный реагент характеризуется низкой эффективностью, тогда как все варианты модификации приводят к росту извлечения барита и повышению селективности. Максимальные показатели достигнуты для образца после окислительной обработки: извлечение барита составило 69,8 %, а селективность – 79,6 %. Наибольшая селективность отмечена для образца, полученного щелочной гидрофобизацией, где показатель S достиг 80,4 %, что связано с более выраженным снижением поверхностного натяжения и формированием плотного адсорбционного слоя на поверхности барита.

References

- Aro T., Fatehi P. (2017). Production and application of lignosulfonates and sulfonated lignin. *ChemSusChem*. – Vol. 10. – No. 9. – P. 1861-1877. <https://doi.org/10.1002/cssc.201700082> (in Eng.).
- Askvik K. M., Hetlesæther S., Sjöblom J., Stenius P. (2001). Properties of the lignosulfonate–surfactant complex phase. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – Vol. 182. – No. 1-3. – P. 175-189. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(00\)00711-1](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(00)00711-1) (in Eng.).
- Feng B., Zhang L., Zhang W., Wang H., Gao Z. (2022). Mechanism of calcium lignosulfonate in apatite and dolomite flotation system. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. – Vol. 29. – No. 9. – P. 1697-1704. <https://doi.org/10.1007/s12613-021-2313-3> (in Eng.).
- Guo Y., Fu Z., Ren S. (2022). High-efficiency flotation of smithsonite in the presence of fine chlorite by using dispersant of sodium lignosulfonate. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – Vol. 649. – P. 129543. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.129543> (in Eng.).
- Gutierrez L., Uribe L., Hernandez V., Vidal C., Mendonça R. T. (2020). Assessment of the use of lignosulfonates to separate chalcopyrite and molybdenite by flotation. *Powder Technology*. – Vol. 359. – P. 216-225. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.10.015> (in Eng.).
- Ksenofontova M. M., Mitrofanova A. N., Mamleeva N. A., Lunin V. V. (2007). The ozonization of sodium lignosulfonate in the presence of hydrogen peroxide. *Russian Journal of Physical Chemistry A*. – Vol. 81. – No. 5. – P. 706-710. <https://doi.org/10.1134/S0036024407050081> (in Eng.).

Li Q., Zeng M., Zhu D., Lou H., Pang Y., Qiu K., Qiu X. (2019). A simple and rapid method to determine sulfonation degree of lignosulfonates. *BioEnergy Research*. – Vol. 12. – No. 2. – P. 260-266. <https://doi.org/10.1007/s12155-019-09972-x> (in Eng.).

Liu D., Peng Y. (2015). Understanding different roles of lignosulfonate in dispersing clay minerals in coal flotation using deionised water and saline water. *Fuel*. – Vol. 142. – P. 235-242. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.10.082> (in Eng.).

Liu M., Zhang C., Hu B., Sun Z., Xu Q., Wen J., Chen D. (2020). Enhancing flotation separation of chalcopyrite and galena by the surface synergism between sodium sulfite and sodium lignosulfonate. *Applied Surface Science*. – Vol. 507. – P. 145042. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.145042> (in Eng.).

Musl O., Sulaeva I., Summerskii I., Mahler A. K., Rosenau T., Falkenhagen J., Potthast A. (2021). Mapping of the hydrophobic composition of lignosulfonates. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. – Vol. 9. – No. 49. – P. 16786-16795. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c06469> (in Eng.).

Pang Y. X., Qiu X. Q., Yang D. J., Lou H. M. (2008). Influence of oxidation, hydroxymethylation and sulfomethylation on the physicochemical properties of calcium lignosulfonate. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – Vol. 312. – No. 2-3. – P. 154-159. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.06.044> (in Eng.).

Penaloza I., Tita A., McNew E., Chu P. (2023). Barite resources, production and recovery using froth flotation: A review. *Minerals Engineering*. – Vol. 203. – P. 108327. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2023.108327> (in Eng.).

Ruwoldt J. (2020). A critical review of the physicochemical properties of lignosulfonates: chemical structure and behavior in aqueous solution, at surfaces and interfaces. *Surfaces*. – Vol. 3. – No. 4. – P. 622-648. <https://doi.org/10.3390/surfaces3040042> (in Eng.).

Wu X., Liu M., Li G., Guo Y., Tian J., Wang Z., Xu L. (2025). Improved flotation separation of barite from Ca-containing gangue minerals via surface-specific adsorption of sodium lignosulfonate. *Langmuir*. – Vol. 41. – No. 36. – P. 24974-24983. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.5c03598> (in Eng.).

Xiong W., Deng J., Zhao K., Wang W., Wang Y., Wei D. (2020). Bastnaesite, barite, and calcite flotation behaviors with salicylhydroxamic acid as the collector. *Minerals*. – Vol. 10. – No. 3. – P. 282. <https://doi.org/10.3390/min10030282> (in Eng.).

Yu X., Zhong Y., Liu Y., Guo S., He G., Liu Z. (2025). Sodium lignosulfonate as a sustainable depressant for selective lepidolite flotation. *Results in Engineering*. – P. 108040. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.108040> (in Eng.).

Zhang M. H., Gan L. L., Li Q. L., Zhang X. (2013). The influence of hydrogen peroxide initiator concentration on the structure of eucalyptus lignosulfonate. *International Journal of Biological Macromolecules*. – Vol. 60. – P. 77-82. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.05.016> (in Eng.).

**Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the
«Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty)**

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

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

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

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

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

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Requirements for articles design for publication in the journal are available on the websites:

www.nauka-nanrk.kz

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

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

Managing Editor: T. Apendiev
Editors: D.S. Alenov, A. Shormakova
Computer layout: G.D. Zhadyranova

Signed for print: September 29, 2026
Format: 70×90 1/16. 34.5 printed sheets. Order No. 3.

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