

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF CHEMISTRY**

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

**№4
2025**

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



ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

4 (465)

October – December 2025

PUBLISHED SINCE JANUARY

1947 PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

Editor in chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovich, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, President of NAS RK RPA, general director of JSC "D.V. Sokolsky Institute of fuel, catalysis and electrochemistry (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 International Scientific and Production Holding «Phytochemistry» (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, Ministry of Industry and infrastructure development of the Republic of Kazakhstan (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>

ZHOROBEKOVA 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, 2025

Editorial address: JSC «D.V. Sokolsky institute of fuel, catalysis and electrochemistry», 142, Kunayev str., of. 310, Almaty, 050100, tel. 291-62-80, fax 291-57-22, e-mail: orgcat@nursat.kz

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрыңұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, РБҚ ҚР ҰҒА президенті, АҚ «Д.В. Сокольский атындағы Отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакция алқасы:

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

АГАБЕКОВ Владимир Енокович (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 Джулит, 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), Реддинг университетінің профессоры (Реддинг, 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, Қазақстан Республикасы Индустрия және инфрақұрылымдық даму министрлігі (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 (Карачи, 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, Кыргызстан ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА Химия және химиялық технология институты (Бішкек, Кыргызстан) <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>

ФАРЗАЛИЕВ 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)

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

Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 05.06.2025 ж. берілген № KZ23VPY00121156 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, 2025

Редакцияның мекенжайы: 050100, Алматы қ., Қонаев к-сі, 142, «Д.В. Сокольский атындағы отын, катализ және электрохимия институты» АҚ, каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail:orgcat@nursat.kz

Главный редактор:

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, президент РОО Национальной академии наук Республики Казахстан, генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (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 Международного научно-производственного холдинга «Фитохимия» (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

АГАБЕКОВ Владимир Енокович (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 Мiroслав, 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>

ТЕЛЫТАЕВ 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 Джарабай 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)

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», 2025

Адрес редакции: 050100, г. Алматы, ул. Кунаева, 142, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail: orgcat@nursat.kz

CONTENTS

G.E. Azimbayeva, A.K. Kamysbayeva, G.N. Kudaibergenova, U.Zh. Beysenbiyeva, N.M. Kurbanbayeva Chromatographic analysis of ethanol obtained from topinambur tubers (<i>Helianthus Tuberosus</i>).....	13
B. Amiraliyev, N. Zhanikulov, B. Taimasov, M. Aitureev, B. Zhakipbayev Expanding the raw material base of mineral additives for the production of composite cements.....	27
A.M. Yegissinova, R.S. Taubayeva, R.K. Rakhmetullaeva, A.S. Seitkan, E.B. Satkozhaeva Physicochemical properties of thermoplastic starch/hemp biofilm produced by casting method.....	41
E.M. Yergaliyeva, K.B. Bazhykova, Zh.Zh. Kolbaeva, A. Duysen, V.V. Vazhev <i>In silico</i> prediction of PASS and ADME/Tox properties of novel 1,3,5-triazine derivatives for drug development.....	54
R.I. Jalmakhanbetova, S. Azatkyzy, G.K. Mukusheva Structure-directed ursolic acid modifications and their impact on biological activity.....	71
R.N. Zhanaliyeva, B.S. Imangaliyeva, M.A. Zharkınbekov, A.S. Ungarbayeva, R. Kozykeyeva Study of the kinetics and mechanism of molybdenum disulfide oxidation by sodium hypochlorite.....	87
O.S. Ilyassova, M. Zhumabek, G.N. Kaumenova, R.S. Orazbekova, B.S. Biyekeyev Hydrogenation of carbon dioxide on Ni-Co/ZrO ₂ catalysts for conversion into synthetic fuel components.....	100
K. Kalmakov, G. Turebekova, S. Yegemberdiyeva, U. Nuridinova, N. Dulat Catalytic cracking of vacuum gas oil from Kumkol oil in a fluidized bed catalyst unit.....	115
B.T. Kuderina, N.B. Kassenova, A.S. Khamitova, A.G. Zhaxybayeva, A.B. Abdrakhmanova Modification of the structure of oxide cathode materials to enhance the capacity and stability of li - ion batteries.....	128

B.M. Kaldybaeva, D.M. Kenzhebekov, D.Zh. Janabayev, L.M. Ulyev, A. Zholshybek Improving the energy efficiency of oil treatment and stabilization units in the field.....	137
A.K. Kozybaev, Zh.D. Alimkulova, S.O. Abilkasova, G.O. Bugubaeva, S. Bubish Prospects for the use of water-soluble copolymers in industrial wastewater treatment processes.....	150
R.M. Kudaibergenova, A.R. Aitekova, N.S. Murzakasymova, A.S. Seitkan, N.A. Nurlybayeva Structural and compositional characteristics of cobalt ferrite nanoparticles.....	159
M. Nazhipkyzy, A. Ashiraly, A. Aitugan, A. Aikenova Fabrication of lignin-based fibrous composites by electrospinning for energy storage applications.....	170
U. Nazarbek, Y. Raiymbekov, P. Abdurazova, G. Kambarova Molecular dynamics modeling of solubility in aqueous systems: temperature dependence and solvation effects.....	184
Zh.Zh. Nurtazina, Zh.S. Kassymova, L.K. Orazzhanova, B. Łeska, N.B. Kiarstanova Efficiency of modified medium for pigment and antioxidant biosynthesis in <i>Chlorella Vulgaris</i>	197
G.M. Ormanova, A.A. Anarbayev, B.N. Kabylbekova, Zh.E. Khusanov Construction of a solubility isotherm in a four-component mutual $\text{CaSO}_4\text{-NaCl-H}_2\text{O}$ system.....	212
Zh.B. Rakhimberlinova, A. Zhorabek, A. Bailen, M. Kaiyrbaeva, A. Mendibayeva Investigation of the possibilities of obtaining ultradispersed copper particles in aqueous solutions.....	227
A. Takibayeva, L. Sultanova, A. Tussupova, Z. Omar, A. Amanzholova Mechanism, features of the amination reaction in a series of lupane triterpenoids.....	239
G. Toleutay, R.N. Tuleyeva, A. Taubatyrova, N.N. Gizatullina Recent advances in the application of lignin for biobased packaging materials.....	250
Kh. Khimersen, T.K. Jumadilov, A. Imangazy, G.T. Dyusseмбаeva, B. Totkhuskyzy Features of the interaction of polyelectrolytes with gallium ions in aqueous media.....	266

МАЗМҰНЫ

Г.Е. Азимбаева, А.К. Камысбаева, Г.Н. Кудайбергенова, Ұ.Ж. Бейсенбиева, Н.М. Курбанбаева Топинамбур жемісінен (<i>Helianthus Tuberosus</i>) алынған этанолдың хроматографиялық анализі.....	13
Б. Амиралиев, Н. Жаникулов, Б. Таймасов, М. Айтуреев, Б. Жакипбаев Композициялық цемент алу үшін минералды қоспалардың шикізат базасын кеңейту.....	27
А.М. Егисина, Р.С. Таубаева, Р.К. Рахметуллаева, А.С. Сейткан, Э.Б. Саткожаева Құю әдісі арқылы алынған термопластикалық крахмал/ конопля биоленкасының физика-химиялық қасиеттері.....	41
Э.М. Ергалиева, К.Б. Бажыкова, Ж.Ж. Кольбаева, А.Б. Дуйсен, В.В. Важев <i>In silico</i> PASS және ADME/Tox бағдарламалары арқылы дәрілік заттар әзірлеу үшін 1,3,5-триазиннің жаңа туындыларының қасиеттерін болжау.....	54
Р.И. Джалмаханбетова, С. Азатқызы, Г.К. Мукушева Урсол қышқылының құрылымдық-бағытталған модификациялары және олардың биологиялық белсенділікке әсері.....	71
Р.Н. Жаналиева, Б.С. Имангалиева, М.А. Жаркинбеков, А.С. Унгарбаева, Р. Қозыкеева Молибден дисульфидін натрий гипохлоритімен тотықтырудың кинетикасы мен механизмін зерттеу.....	87
О.С. Ильясова, М. Жумабек, Г.Н. Кауменова, Р.С. Оразбекова, Б.С. Биекеев Көмірқышқыл газын синтетикалық отын компоненттеріне айналдыру үшін Ni-Co/ZrO ₂ катализаторларында гидрлеу.....	100
К.К. Калмаков, Г.З. Туребекова, С.Ж. Егембердиева, У.Е. Нуридинова, Н.Н. Дулат Құмкөл мұнайынан алынған вакуум газойлін катализатордың қайнау қабатындағы қондырғыда каталитикалық крекингтеу.....	115
Б.Т. Кудерина, Н.Б. Касенова, А.С. Хамитова, А.Г. Жаксыбаева, А.Б. Абдрахманова Li - ионды аккумуляторлардың сыйымдылығы мен тұрақтылығын арттыру үшін оксидті катод материалдарын модификациялау.....	128

Б.М. Калдыбаева, Д.М. Кенжебеков, Д.Ж. Джанабаев, Л.М. Ульев, А. Жолшыбек Кәсіпшілікте мұнайды дайындау және тұрақтандыру қондырғысының энергия тиімділігін арттыру.....	137
А.Қ. Қозыбаев, Ж.Д. Әлімқұлова, С.О. Әбілқасова, Г.О. Бугубаева, Ш. Бүбіш Өндірістік ағынды суларды тазарту процестерінде суда еритін сополимерлерді қолдану перспективалары.....	150
Р.М. Құдайбергенова, А.Р. Айтекова, Н.С. Мурзакасымова, А.С. Сейтқан, А.Н. Нұрлыбаева Кобалт феррит нанобөлшектерінің құрылымдық және құрамдық сипаттамасы.....	159
М. Нажипқызы, А. Ашіралы, А. Айтуған, А. Айкенова Энергия сақтау жүйелерінде қолдануға арналған лигнин негізіндегі талшықты композиттерді электроспиннинг әдісімен алу.....	170
У. Назарбек, Е. Райымбеков, П. Абдуразова, Ғ. Қамбарова Су жүйелеріндегі ерігіштіктің молекулалық динамикалық модельдеуі: температураға тәуелділік және еріткіштің әсері.....	184
Ж.Ж. Нуртазина, Ж.С. Касымов, Л.К. Оразжанова, Л. Богуслава, Н.Б. Қиарстанова <i>Chlorella Vulgaris</i> құрамындағы пигменттер мен антиоксиданттардың биосинтезі үшін модификацияланған қоректік ортаның тиімділігі.....	197
Г.М. Орманова, А.А. Анарбаев, Б.Н. Кабылбекова, Ж.Е. Хусанов Төрт компонентті CASO ₄ -NaCl-H ₂ O өзара әрекеттесу жүйесіндегі ерігіштік изотермасын тұрғызу.....	212
Ж.Б. Рахимберлинова, А. Жорабек, А. Байлен, М. Қайырбаева, Ә. Мендібаева Сулы ерітінділердегі мыстың ультродисперсті бөлшектерін алу мүмкіндіктерін зерттеу.....	227
А. Такибаева, Л. Султанова, А. Тусупова, З. Омар, А. Аманжолова Лупан тритерпеноидтар қатарындағы аминдену реакциясының механизмі, ерекшеліктері.....	239

Г. Төлеутай, Р.Н. Тулеева, А. Таубатырова, Н.Н. Гизатуллина

Лигниннің бионегізді қаптама материалдарында қолданылуының

соңғы жетістіктері.....250

Х. Химэрсэн, Т.К. Джумадилов, А. Имангазы, Г.Т. Дюсембаева,

Б. Тотхусқызы

Полиэлектролиттердің галлий иондарымен су ортасында әрекеттесу

ерекшеліктері.....266

СОДЕРЖАНИЕ

Г.Е. Азимбаева, А.К. Камысбаева, Г.Н. Кудайбергенова, У.Ж. Бейсенбиева, Н.М. Курбанбаева Хроматографический анализ этанола полученного из клубней топинамбура (<i>Helianthus Tuberosus</i>).....	13
Б. Амиралиев, Н. Жаникулов, Б. Таймасов, М. Айтурсев, Б. Жакипбаев Расширение сырьевой базы минеральных добавок для получения композиционных цементов.....	27
А.М. Егисинова, Р.С. Таубаева, Р.К. Рахметуллаева, А.С. Сейткан, Э.Б. Саткожаева Физико-химические свойства термопластичной биопленки из крахмала/конопли, полученной методом литья.....	41
Э.М. Ергалиева, К.Б. Бажыкова, Ж.Ж. Кольбаева, А.Б. Дуйсен, В.В. Важев IN SILICO PASS и ADME/TOX прогнозирование свойств новых производных 1,3,5-триазина для разработки лекарств.....	54
Р.И. Джалмаханбетова, С. Азаткызы, Г.К. Мукушева Структурно-направленные модификации урсоловой кислоты и их влияние на биологическую активность.....	71
Р.Н. Жаналиева, Б.С. Имангалиева, М.А. Жаркинбеков, А.С. Унгарбаева, С. Бердібекова Изучение кинетики и механизма окисления дисульфида молибдена гипохлоритом натрия.....	87
О.С. Ильясова, М. Жумабек, Г.Н. Кауменова, Р.С. Оразбекова, Б.С. Биекеев Гидрирование диоксида углерода на Ni-Co/ZrO ₂ катализаторах для преобразования в компоненты синтетического топлива.....	100
К.К. Калмаков, Г.З. Туребекова, С.Ж. Егембердиева, У.Е. Нуридинова, Н.Н. Дулат Каталитический крекинг вакуумного газойля Кумкольской нефти на установке псевдоожиженным слоем катализатора.....	115
Б.Т. Кудерина, Н.Б. Касенова, А.С. Хамитова, А.Г. Жаксыбаева, А.Б. Абдрахманова Модификация структуры оксидных катодных материалов для повышения ёмкости и стабильности Li-ион аккумуляторов.....	128

Б.М. Калдыбаева, Д.М. Кенжебеков, Д.Ж. Джанабаев, Л.М. Ульев, А. Жолшыбек Повышение энергоэффективности установки подготовки и стабилизации нефти на промысле.....	137
А.К. Козыбаев, Ж.Д. Алимкулова, С.О. Абилкасова, Г.О. Бугубаева, Ш. Бубиш Перспективы использования водорастворимых сополимеров в процессах очистки промышленных сточных вод.....	150
Р.М. Кудайбергенова, А.Р. Айтекова, Н.С. Мурзакасымова, А. Сейткан, А.Н. Нурлыбаева Структурно-композиционные характеристики наночастиц феррита кобальта.....	159
М. Нажипкызы, А. Аширалы, А. Айтуган, А. Айкенова Получение волокнистых композитов на основе лигнина методом электроспиннинга для применения в системах хранения энергии.....	170
У. Назарбек, П. Абдуразова, Ғ. Қамбарова, Е. Райымбеков Молекулярно-динамическое моделирование растворимости в водных системах: температурная зависимость и эффекты сольватации.....	184
Ж.Ж. Нуртазина, Ж.С. Касымова, Л.К. Оразжанова, Л. Богуслава, Н.Б. Қиарстанова Эффективность модифицированной среды для биосинтеза пигментов и антиоксидантов в <i>Chlorella Vulgaris</i>	197
Г.М. Орманова, А.А. Анарбаев, Б.Н. Кабылбекова, Ж.Е. Хусанов Построение изотермы растворимости в четырехкомпонентной взаимной системе $\text{CaSO}_4\text{-NaCl-H}_2\text{O}$	212
Ж.Б. Рахимберлинова, А. Жорабек, А. Байлен, М. Кайырбаева, А. Мендибаева Исследование возможностей получения ультрадисперсных частиц меди в водных растворах.....	227
А. Такибаева, Л. Султанова, А. Тусупова, З. Омар, А. Аманжолова Механизм, особенности протекания реакции аминирования в ряду лупановых тритерпеноидов.....	239

Г. Толеутай, Р.Н. Тулеева, А. Таубатырова, Н.Н. Гизатуллина

Последние достижения в применении лигнина для биополимерных

упаковочных материалов.....250

Х. Химэрсэн, Т.К. Джумадилов, А. Имангазы, Г.Т. Дюсембаева,

Б. Тотхусқызы

Особенности взаимодействие полиэлектролитов с ионами галлия

в водной среде.....266

© R.N. Zhanaliyeva¹, B.S. Imangaliyeva^{*2}, M.A. Zharkınbekov¹,
A.S. Ungarbayeva¹, R. Kozykeyeva³, 2025.

¹Central Asian Innovation University, Shymkent, Kazakhstan;

²Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan;

³Zh. Tashenov University, Shymkent, Kazakhstan.

E-mail: nur_b_70@mail.ru

STUDY OF THE KINETICS AND MECHANISM OF MOLYBDENUM DISULFIDE OXIDATION BY SODIUM HYPOCHLORITE

Zhanaliyeva Rashida — Central Asian Innovation University, Candidate of Chemical Sciences, Professor, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: rashida_zhanalie@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2171-2707>;

Imangaliyeva Bazarkhan — K. Zhubanov Aktobe Regional State University, Candidate of Pedagogical Sciences, Professor, Aktobe, Kazakhstan,

E-mail: nur_70@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3121-3135>;

Zharkınbekov Murat — Central Asian Innovation University, Candidate of Technical Sciences, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: murat.asan.73@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-3098-9812>;

Ungarbayeva Aisulu — Central Asian Innovation University, Master's degree, senior lecturer, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: ungاربةva.aysulu@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5936-0360>;

Kozykeyeva Raikhan — Zh. Tashenov University, Candidate of Technical Science, docent, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: kozykeeva@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5409-3754>.

Abstract. Molybdenum disulphide (MoS₂) is widely used in catalysis, electrochemistry, energy storage devices, and lubricants due to its layered structure and unique properties. This study investigates the kinetics and mechanism of MoS oxidation by sodium hypochlorite (NaClO) solution. It reviews current hydrometallurgical methods for processing molybdenite concentrates. Experimental research was conducted over a range of temperatures (298–338 K), pH values (5.5–9.0), and oxidant concentrations (0.05–0.8 mol/L). Results show that oxidation proceeds via a heterogeneous mechanism and follows pseudo-first-order kinetics with respect to NaClO. Increasing hypochlorite concentration enhances molybdenum extraction from 35% to 85%, while reducing reaction time from 60 to 30 minutes. The highest reaction rate occurs in a slightly alkaline environment (pH 8–9), corresponding to optimal oxidative activity of OCl⁻ ions. The activation energy, calculated from the Arrhenius equation, is 42–55 kJ/mol,

indicating a moderate energy barrier. The oxidation mechanism involves adsorption of ClO^- ions on MoS_2 surface active centers, followed by the oxidation of sulphur ($\text{S}^{2-} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$) and molybdenum ($\text{Mo}^{4+} \rightarrow \text{Mo}^{6+}$), producing soluble MoO_4^{2-} and SO_4^{2-} ions. Intermediate compounds like MoO_2 and H_2MoO_4 were observed in the early stages. The morphological properties of MoS_2 , including dispersion and lattice defects, significantly impact the reaction rate. These findings advance the understanding of sulphide mineral oxidation and have applications in environmentally safe hydrometallurgical processes for molybdenum-containing materials.

Keywords: molybdenum disulfide, sodium hypochlorite, oxidation, kinetics, activation energy, reaction mechanism

© Р.Н. Жаналиева¹, Б.С. Имангалиева^{*2}, М.А. Жаркинбеков¹,
А.С. Унгарбаева¹, Р. Қозыкеева³, 2025.

¹Орталық Азия инновациялық университет, Шымкент, Қазақстан;

²Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан;

³Ж. Тәшенов атындағы университеті, Шымкент, Қазақстан.

E-mail: nur_b_70@mail.ru

МОЛИБДЕН ДИСУЛЬФИДІН НАТРИЙ ГИПОХЛОРИТІМЕН ТОТЫҚТЫРУДЫҢ КИНЕТИКАСЫ МЕН МЕХАНИЗМІН ЗЕРТТЕУ

Жаналиева Рашида — Орталық Азия инновациялық университеті, химия ғылымдарының кандидаты, профессор, Шымкент, Қазақстан,
E-mail: rashida_zhanalie@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2171-2707>;

Имангалиева Базархан — Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, педагогика ғылымдарының кандидаты, профессор, Ақтөбе, Қазақстан,
E-mail: nur_b_70@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3121-3135>;

Жаркинбеков Мұрат — Орталық Азия инновациялық университеті, техника ғылымдарының кандидаты, Шымкент, Қазақстан,
E-mail: murat.asan.73@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-3098-9812>;

Унгарбаева Айсұлу — Орталық Азия инновациялық университет, магистр, аға оқытушы, Шымкент, Қазақстан,
E-mail: ungaraeva.aysulu@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5936-0360>;

Қозыкеева Райхан — Ж. Тәшенов атындағы университеті, Шымкент Қазақстан, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Шымкент, Қазақстан,
E-mail: kozykeeva@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5409-3754>.

Аннотация. Қазіргі уақытта молибден қосылыстары катализ, электрохимия, энергия сақтау құрылғылары және майлау материалдары салаларында кеңінен қолданылады. Әсіресе, молибден дисульфиді (MoS_2) өзінің қабыршақ тәрізді құрылымы мен ерекше физика-химиялық қасиеттерінің арқасында нанотехнология мен материалтануда ерекше назарға ие. Мақалада натрий гипохлориті (NaClO) ерітіндісі мен молибден дисульфидінің (MoS_2) кинетикасы мен тотығу механизміне кешенді зерттеу жүргізілген. Молибденит концентраттарын гидрометаллургиялық өңдеудің заманауи әдістеріне әдеби шолу жасалды. Эксперименттік зерттеулер кең температура диапазонында (298–338 К), рН (5,5–9,0) және тотықтырғыш

концентрациясында (0,05–0,8 моль/л) орындалды. Процесс гетерогенді типтегі механизм бойынша жүретіні және NaClO бойынша псевдо-бірінші ретті кинетикаға бағынатыны анықталды. Гипохлорит концентрациясының жоғарылауымен молибденнің экстракция дәрежесі 35%-дан 85%-ға дейін артады, ал реакция уақыты 60-тан 30 минутқа дейін қысқарады. Реакцияның ең жоғары жылдамдығы әлсіз сілтілі ортада (pH 8-9) байқалады, бұл OCl^- иондарының максималды тотығу белсенділігімен байланысты. Аррениус теңдеуі бойынша активтендіру энергиясын есептеу 42-55 кДж/моль мәндерін көрсетті, бұл процестің қалыпты энергетикалық кедергісі мен химиялық бақылауын көрсетеді. MoS_2 бетінің белсенді орталықтарында ClO^- иондарының адсорбциясын, күкірттің ($\text{S}^{2-} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$) және молибденнің ($\text{Mo}^{4+} \rightarrow \text{Mo}^{6+}$) еритін MoO_4^{2-} және SO_4^{2-} иондарының түзілуін қамтитын ықтимал тотығу механизмі ұсынылған. MoO_2 және H_2MoO_4 аралық қосылыстарының түзілуі расталды, әсіресе реакцияның алғашқы кезеңдерінде. MoS_2 морфологиялық сипаттамалары (дисперсия, кристалдық тордың ақаулары) жүйенің реактивтілігін арттыра отырып, өзара әрекеттесу жылдамдығына айтарлықтай әсер етеді. Нәтижелер сульфидті минералдардың тотығу механизмдері туралы түсініктерді кеңейтеді және құрамында MoS_2 бар молибден бар концентраттарды, катализаторларды және қалдықтарды өңдеудің тиімді және экологиялық қауіпсіз гидрометаллургиялық технологияларын әзірлеуде пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: молибден дисульфиді, натрий гипохлориті, тотығу, кинетика, активтену энергиясы, реакция механизмі

© Р.Н. Жаналиева¹, Б.С. Имангалиева^{*2}, М.А. Жаркинбеков¹,
А.С. Унгарбаева¹, С. Бердібекова¹, 2025.

¹Центрально-Азиатский инновационный университет, Шымкент, Казахстан;

²Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,
Актобе, Казахстан;

³Университет имени Ж. Ташенова, Шымкент, Казахстан.

E-mail: nur_b_70@mail.ru

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ И МЕХАНИЗМА ОКИСЛЕНИЯ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА ГИПОХЛОРИТОМ НАТРИЯ

Жаналиева Рашида — Центрально-Азиатский инновационный университет, кандидат химических наук, профессор, Шымкент, Казахстан,

E-mail: rashida_zhanalie@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2171-2707>;

Имангалиева Базархан — Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, кандидат педагогических наук, профессор, Актобе, Казахстан,

E-mail: nur_b_70@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3121-3135>;

Жаркинбеков Мурат — Центрально-Азиатский инновационный университет, кандидат технических наук, Шымкент, Казахстан,

E-mail: murat.asan.73@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-3098-9812>;

Унгарбаева Айсулу — Центрально-Азиатский инновационный университет, магистр, старший преподаватель, Шымкент, Казахстан,

E-mail: ungarbaeva.aysulu@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5936-0360>;

Козыкеева Райхан — Университет имени Ж.Тәшенова, Казахстан, кандидат технических наук, доцент, Шымкент, Казахстан.

E-mail: kozykееva@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5409-3754>.

Аннотация. В настоящее время соединения молибдена широко используются в области катализа, электрохимии, устройств хранения энергии и смазочных материалов. В частности, дисульфид молибдена (MoS_2) привлекает особое внимание в нанотехнологиях и материаловедении благодаря своей слоистой структуре и уникальным физико-химическим свойствам. В статье проведено комплексное исследование кинетики и механизма окисления дисульфида молибдена (MoS_2) раствором гипохлорита натрия (NaClO). Проведён литературный обзор современных методов гидрометаллургической переработки молибденитовых концентратов. Экспериментальные исследования выполнены в широком диапазоне температур (298–338 К), pH (5,5–9,0) и концентраций окислителя (0,05–0,8 моль/л). Установлено, что процесс протекает по гетерогенному механизму и подчиняется кинетике псевдо-первого порядка по NaClO . При увеличении концентрации гипохлорита степень извлечения молибдена возрастает с 35 % до 85 %, а время реакции сокращается с 60 до 30 минут. Наиболее высокая скорость реакции наблюдается в слабощелочной среде (pH 8–9), что связано с максимальной окислительной активностью ионов OCl^- . Расчёт активационной энергии по уравнению Аррениуса показал значения 42–55 кДж/моль, что указывает на умеренный энергетический барьер и химический контроль процесса. Предложен вероятный механизм окисления, включающий адсорбцию ионов ClO^- на активных центрах поверхности MoS_2 , последовательное окисление серы ($\text{S}^{2-} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$) и молибдена ($\text{Mo}^{4+} \rightarrow \text{Mo}^{6+}$) с образованием растворимых ионов MoO_4^{2-} и SO_4^{2-} . Подтверждено образование промежуточных соединений MoO_2 и H_2MoO_4 , особенно на начальных стадиях процесса. Морфологические характеристики MoS_2 (дисперсность, дефекты кристаллической решётки) оказывают существенное влияние на скорость взаимодействия, повышая реакционную способность системы. Полученные результаты расширяют представления о механизмах окисления сульфидных минералов и могут быть использованы при разработке эффективных и экологически безопасных гидрометаллургических технологий переработки молибденсодержащих концентратов, катализаторов и отходов, содержащих MoS_2 .

Ключевые слова: дисульфид молибдена, гипохлорит натрия, окисление, кинетика, энергия активации, механизм реакции

Введение. Среди природных соединений молибдена наибольшее распространение получил дисульфид, характеризующийся химической формулой MoS_2 и слоистой структурой.

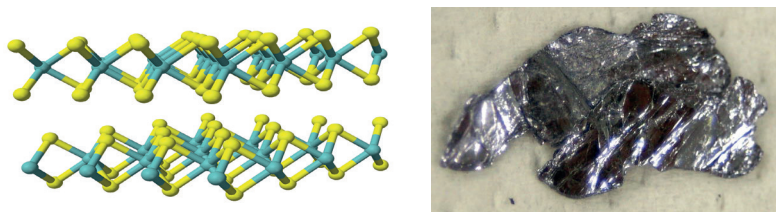


Рисунок 1 - Дисульфид молибдена

Среди многочисленных соединений молибдена, встречающихся в природе, дисульфид молибдена (MoS_2) занимает особое место благодаря своей химической устойчивости и физико-химическим свойствам. Он представляет собой неорганическое соединение с характерной слоистой структурой, где атомы молибдена располагаются между двумя слоями серы. Благодаря такой конфигурации MoS_2 находит широкое применение в качестве твёрдого смазочного материала, компонента антифрикционных паст, высокотемпературных и многоцелевых смазок.

MoS_2 устойчив к воздействию кислот, щелочей и органических растворителей, за исключением «царской водки» и концентрированной горячей серной кислоты. При этом на поверхности он образует прочную плёнку, способную выдерживать высокие нагрузки и температуры. Благодаря высокой температуре плавления (1185°C) и плотности (4.8 г/см^3 при 14°C), материал остаётся стабильным в агрессивных условиях.

С практической точки зрения, изучение процессов окисления дисульфида молибдена представляет интерес в различных технологических направлениях: от переработки молибденсодержащих руд до обезвреживания промышленных отходов. Растворы гипохлорита натрия (NaClO) проявляют высокую эффективность как окислители, способные переводить малорастворимый MoS_2 в растворимую форму, включая молибдат- и сульфат-ионы. В связи с этим актуальной задачей является изучение кинетики и механизма данных окислительных превращений в условиях, имитирующих реальные процессы гидрометаллургической переработки и очистки сточных вод.

Цель исследования — установление кинетических закономерностей и механизмов взаимодействия MoS_2 с NaClO в водной среде при различных температурах, pH и концентрациях окислителя.

Литературный обзор. Окисление сульфидных минералов, в том числе дисульфида молибдена, является важным этапом в процессах извлечения металлов и очистки сточных вод. На сегодняшний день проведено немало исследований, посвящённых взаимодействию MoS_2 с различными окислителями. Особый интерес вызывает гипохлорит натрия (NaClO), который обладает рядом преимуществ: высокой окислительной способностью, относительной экологической безопасностью и доступностью.

MoS_2 — типичный представитель переходных металлдихалькогенидов, обладающий слоистой структурой, высокой химической устойчивостью и

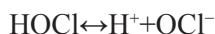
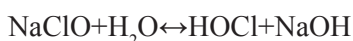
полупроводниковыми свойствами. Согласно литературным источникам (Gulyaev, 2004), при обработке MoS_2 раствором NaClO происходит разрушение его слоистой структуры с образованием растворимых продуктов — молибдата (MoO_4^{2-}) и сульфаты (SO_4^{2-}).

Окисление дисульфида молибдена в растворах гипохлорита натрия представляет собой сложный гетерогенный процесс, включающий химические и диффузионные стадии. Механизмы и кинетика окисления сульфидных минералов гипохлоритом исследованы в ряде работ. Гипохлорит способен окислять как серу до шестой степени окисления, так и молибден — до Mo^{6+} , проходя через промежуточную стадию Mo^{5+} (Kulikova, Nikitenko, & Gromov, 2020). При этом реакционная способность системы во многом определяется такими параметрами, как кислотность среды, температура и концентрация активного хлора.

Waseda and Suito (1993) предложили ступенчатую модель окисления, где ионы ClO^- атакуют как серные, так и металлические центры, способствуя образованию ионов SO_4^{2-} и MoO_4^{2-} . В данном случае гипохлорит действует как двухфункциональный окислитель: он атакует как атомы серы, превращая их в сульфаты, так и молибден, который переходит в растворимую форму молибдата. Интерес представляют исследования, посвящённые влиянию морфологии и дефектности MoS_2 . Большую роль в реакции играет микроструктура материала: дефекты кристаллической решётки, границы зёрен и высокая дисперсность MoS_2 ускоряют процесс (Bessonov & Fedorov, 2017). Особенно выраженное влияние наблюдается при использовании наноструктурированных форм соединения.

Также установлено, что на скорость реакции существенное влияние оказывает pH среды. При нейтральных и слабощелочных значениях pH (7–9) активная форма гипохлорита — ион HOCl — проявляет максимальную окислительную активность (Lutsik & Sobolev, 2009). Химическое равновесие в растворе описывается следующими реакциями:

В водном растворе NaClO :



При pH 6–9 преобладает HOCl , обладающий высокой окислительной способностью. Окисление MoS_2 протекает в несколько стадий с образованием молибдата и сульфатов. Совокупный процесс окисления MoS_2 можно представить упрощённым уравнением:



Продукты реакции: молибдат-ион (MoO_4^{2-}), сульфат-ион (SO_4^{2-}), ионы натрия и хлорид.

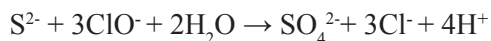
Механизм включает стадии адсорбции ионов ClO^- на активных центрах,

их взаимодействие с серой и молибденом, а также последующее образование растворимых ионов Mo(VI) и SO_4^{2-} . Предполагается участие промежуточных оксидов MoO_2 и H_2MoO_4 .

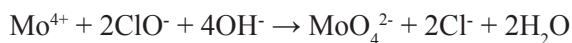
Окисление дисульфида молибдена (MoS_2) раствором гипохлорита натрия (NaClO) является многостадийным гетерогенным процессом, включающим адсорбцию, электрохимическое окисление и десорбцию продуктов. Реакции происходят на границе фаз и сопровождаются разрушением слоистой структуры MoS_2 .

1. Адсорбция гипохлорит-ионов на активных центрах MoS_2
 $\text{MoS}_2(\text{s}) + \text{ClO}^- \rightleftharpoons \text{MoS}_2 \cdot \text{ClO}^-$

2. Окисление серы в составе MoS_2 :



3. Окисление молибдена ($\text{Mo}^{4+} \rightarrow \text{Mo}^{6+}$):



4. Совокупная реакция окисления:



Кинетика и механизм этих процессов были исследованы в ряде научных работ. По данным Rasulova et al. (2020), реакция следует кинетике псевдопервого порядка по NaClO и имеет активационную энергию порядка 33–40 кДж/моль. При разбавленных растворах возможно замедление процесса за счёт перехода от химического контроля к внутридифузионному. Также в исследованиях Waseda и Suito отмечается значительное влияние pH и температуры на скорость окисления.

Таким образом, окисление MoS_2 гипохлоритом – это многостадийный процесс, протекающий с образованием растворимых молибдатов и сульфатов в зависимости от условий среды. Исследования также поднимают вопросы возможности практического применения данного окислительного процесса в технологиях утилизации отработанных катализаторов и смазочных материалов, содержащих MoS_2 (Yang & Liu, 2014). В обзоре Cotton and Wilkinson (1999) подчёркивается высокая термодинамическая способность ClO^- к разрушению сульфидных связей, что дополнительно подтверждает перспективность данного подхода.

Таким образом, по данным литературы, NaClO может рассматриваться как универсальный окислитель для обработки MoS_2 , однако ряд вопросов, касающихся молекулярного механизма и стадии образования промежуточных продуктов, требует дальнейшего изучения.

Условия и методы исследования. Для проведения экспериментов использовались следующие химические реагенты:

Дисульфид молибдена (MoS_2) — порошкообразный образец аналитической чистоты с размером частиц до 75 мкм. Перед использованием вещество было высушено в сушильном шкафу при температуре 105 °C в течение 2 часов.

Гипохлорит натрия (NaClO) — водный раствор с концентрацией активного

хлора 10–12%. Для экспериментов раствор разводился дистиллированной водой до требуемой концентрации (от 0,05 до 0,8 моль/л).

Буферные системы: фосфатный (pH 7), гидрокарбонатный (pH 8) и боратный (pH 9) растворы были использованы для поддержания стабильного значения pH в ходе реакции.

Дистиллированная вода применялась для приготовления всех растворов и промывки оборудования.

Образцы MoS_2 предварительно измельчались до среднего размера частиц 20–50 мкм и сушились при температуре 105 °C в течение 2 часов. Реакции проводились в стеклянной термостатируемой ёмкости объёмом 250 мл с использованием магнитной мешалки и подогрева. Контроль pH среды осуществлялся с помощью иономера модели «pH-150М», оснащённого комбинированным стеклянным электродом. Анализ ионов молибдена в растворе проводился методом УФ-спектрофотометрии на приборе Shimadzu UV-1800 при длине волны 240–250 нм. Отбор и подготовка проб включали фильтрацию через мембранные фильтры и добавление раствора аскорбиновой кислоты для остановки реакции.

Методика проведения эксперимента В термостатируемый реактор вносили 100 мл предварительно приготовленного буферного раствора с заданным значением pH и доводили его до требуемой температуры (в диапазоне 25–65 °C). Затем добавляли навеску MoS_2 (0,5 г) и после перемешивания — соответствующий объём раствора NaClO . Реакционную смесь перемешивали на протяжении всего эксперимента. Через заданные промежутки времени (0, 5, 10, 15 и 20 минут) отбирали аликвоты объёмом по 5 мл. Реакцию останавливали путём добавления восстановителя — аскорбиновой кислоты. Образцы фильтровали и подвергали спектрофотометрическому анализу на содержание MoO_4^{2-} .

Скорость реакции определялась по изменению концентрации молибдата во времени:

$$v = \Delta[\text{MoO}_4^{2-}] / \Delta t$$

где:

v — скорость химической реакции (в данном случае — окисления MoS_2)

$\Delta[\text{MoO}_4^{2-}]$ — изменение концентрации молибдат-ионов (MoO_4^{2-}) за определённый промежуток времени,

Δt — соответствующий интервал времени, за который происходит это изменение концентрации.

Изменение концентрации молибдат-ионов (MoO_4^{2-}) характеризуется величиной $\Delta[\text{MoO}_4^{2-}]$, показывающей, насколько изменилась концентрация молибдата в ходе реакции. Эта величина вычисляется как разность между конечной и начальной концентрациями по формуле:

$$\Delta[\text{MoO}_4^{2-}] = [\text{MoO}_4^{2-}]_{\text{кон}} - [\text{MoO}_4^{2-}]_{\text{н}}$$

$[\text{MoO}_4^{2-}]_{\text{н}}$ — начальная концентрация молибдат-ионов до начала реакции, $[\text{MoO}_4^{2-}]_{\text{кон}}$ — концентрация молибдат-ионов после определённого времени реакции.

Положительное значение $\Delta[\text{MoO}_4^{2-}]$ свидетельствует об увеличении концентрации ионов в растворе, а отрицательное — об их уменьшении, что указывает на протекание реакции с участием молибдата.

Представленные кинетические данные подтверждают, что скорость реакции увеличивается с ростом температуры и концентрации NaClO , что согласуется с термодинамическими закономерностями окислительно-восстановительных процессов.

Для определения порядка реакции по гипохлориту строили логарифмическую зависимость:

$$\ln v = \ln k + n \ln [\text{NaClO}]$$

Активационная энергия рассчитывалась по уравнению Аррениуса на основе температурной зависимости константы скорости:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

Скорость реакции зависит от температуры, концентрации гипохлорита, pH среды и размера частиц MoS_2 . Ниже приведена таблица с экспериментальными условиями и соответствующий график зависимости степени извлечения молибдена от концентрации гипохлорита.

Таблица 1 – Условия проведения экспериментов

№	Конц. NaClO (моль/л)	Температура (К)	pH среды	Время реакции (мин)	Степень извлечения Mo (%)
1	0.1	298	5.5	60	35
2	0.2	308	6.0	45	48
3	0.4	318	7.0	40	62
4	0.6	328	8.0	35	74
5	0.8	338	9.0	30	85

Скорость реакции при различных температурах позволила построить график Аррениуса (рисунок 2).

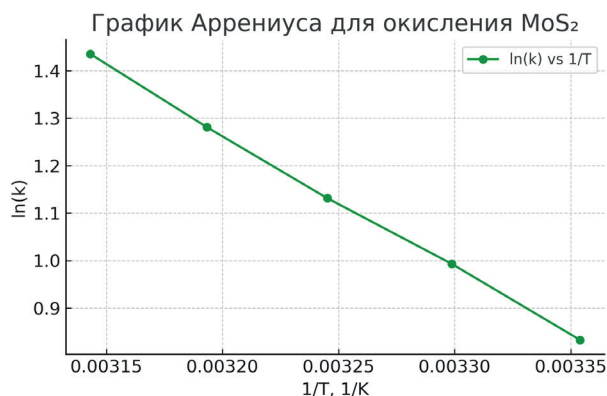


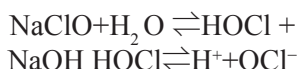
Рисунок 2 – График Аррениуса для окисления MoS_2

Результаты исследований и их обсуждение. Согласно экспериментальным наблюдениям, увеличение содержания NaClO в растворе оказывает заметное влияние на интенсивность протекания процесса окисления MoS_2 . При повышении концентрации гипохлорита от 0,1 до 0,8 моль/л степень извлечения молибдена в раствор увеличивалась с 35 до 85%, при этом общее время реакции сокращается с 60 до 30 минут. Логарифмический анализ кинетических данных показал линейную зависимость между $\ln v$ и $\ln [\text{NaClO}]$, что свидетельствует о первом порядке реакции по гипохлориту. Это подтверждает гипотезу о том, что гипохлорит-ион участвует в элементарном акте окисления молекулы или её активного центра на поверхности MoS_2 .

При проведении опытов в диапазоне температур 298–338 К наблюдалось резкое ускорение окислительного процесса с ростом температуры. Полученные данные использованы для построения графика Аррениуса. По его наклону была рассчитана энергия активации, значения которой варьировались в пределах 42–55 кДж/моль в зависимости от pH среды и концентрации реагентов. Данный уровень энергетического барьера указывает на умеренно активируемый процесс, что типично для гетерогенных окислительных реакций.

Реакционная способность системы также существенно зависела от кислотно-щелочных условий. Наибольшая скорость окисления MoS_2 фиксировалась при pH 8–9, что согласуется с максимальной активностью ионов OCl^- . При нейтральном и слабощелочном pH гипохлорит представлен преимущественно в форме HOCl , обладающей высокой электрофильностью и способной эффективно атаковать сульфидные и металлические центры.

Химическое равновесие гипохлорита натрия в водной среде описывается следующими уравнениями:



Экспериментально установлено, что окисление MoS_2 в щелочной среде гипохлоритом натрия приводит к образованию растворимых ионов MoO_4^{2-} и SO_4^{2-} .

На основе результатов анализа предложено обобщённое стехиометрическое уравнение окисления:

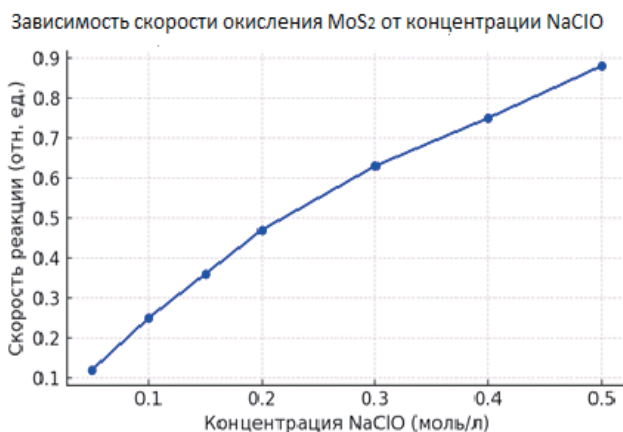


Спектрофотометрическим методом подтверждено образование в растворе ионов молибдата и сульфата как основных продуктов. Также возможно образование промежуточных соединений, таких как MoO_2 и H_2MoO_4 , особенно на ранних стадиях взаимодействия

С увеличением концентрации NaClO скорость реакции возрастает линейно. График зависимости (рисунок 3) подтверждает первый порядок по NaClO ($n \approx 1.0$):

Таблица 2 - Кинетические характеристики окисления MoS_2 в растворе NaClO

№ опыта	$[\text{NaClO}]$, моль/л	Температура, °C	Скорость реакции, мкмоль/(л·мин)	Порядок по NaClO
1	0.05	25	1.2	0.96
2	0.10	25	2.3	0.98
3	0.20	25	4.6	1.01
4	0.50	25	11.5	1.03
5	0.10	35	3.1	0.99

Рисунок 3 – График зависимости скорости реакции от концентрации NaClO .

Построенные графики показывают линейную зависимость скорости реакции от концентрации гипохлорита, подтверждая порядок реакции, близкий к первому.

Полученные результаты свидетельствуют о гетерогенном механизме, включающем следующие ключевые этапы:

Адсорбция гипохлорит-ионов на активных участках поверхности MoS_2 ;

Окисление серы с переходом из степени окисления -2 в $+6$;

Окисление молибдена от $+4$ до $+6$ с образованием ионов MoO_4^{2-}

Десорбция продуктов и дальнейшее разрушение слоистой решётки.

Также подтверждена важность морфологических характеристик MoS_2 : высокая дисперсность и наличие дефектов в кристаллической структуре значительно ускоряют реакцию. В наноструктурированных образцах наблюдается повышенная скорость взаимодействия, что связано с увеличением удельной поверхности и числа реакционно-активных центров.

Заключение. Проведённые эксперименты позволили установить основные закономерности окисления дисульфида молибдена раствором гипохлорита натрия. Реакция протекает по многостадийному механизму и включает последовательные процессы: адсорбцию окислителя, окисление серы и молибдена, а также переход продуктов в раствор. Установлено, что скорость реакции увеличивается с ростом температуры и концентрации NaClO , при этом наиболее благоприятные условия достигаются в нейтральной и слабощелочной среде (pH 8-9).

Кинетический анализ показал, что процесс подчиняется кинетике псевдо-первого порядка по гипохлориту. Расчёт активационной энергии, выполненный на основе температурных зависимостей, дал значения в пределах 42-55 кДж/моль, что указывает на умеренный энергетический барьер. На основании анализа полученных данных предложен возможный механизм взаимодействия, включающий образование промежуточных соединений - MoO_2 и H_2MoO_4 . Также отмечено влияние морфологических характеристик материала: наличие дефектов и высокая удельная поверхность способствуют интенсификации процесса.

Полученные результаты имеют практическую значимость для разработки гидрометаллургических технологий, направленных на извлечение молибдена из концентратов и вторичных источников, а также для оптимизации процессов обезвреживания сульфидных загрязнителей в водных системах.

Литература

- Bessonov A.A., Fedorov S.V. (2017) Surface reactivity of layered MoS_2 . Russian Journal of Physical Chemistry, — Vol. 91, No. 5. — P. 879–885.
- Chou S.S., et al. (2015) Controlling the metal to semiconductor transition of MoS_2 and WS_2 . Journal of the American Chemical Society (JACS).
- Cotton F.A., Wilkinson G. (1999) Advanced Inorganic Chemistry. Wiley. — 1376 p.
- Lutsik V.I., Sobolev A.E. (2009) Kinetics of Hydrolytic and Oxidative Dissolution of Metal Sulfides. Tver (Russia): TSTU. — 140 p.
- Rasooli A., Safari R., Mohammadi M. (2016) Kinetics and mechanism of sulfide mineral oxidation by NaClO . Hydrometallurgy, — Vol. 160. — P. 76–83.
- Safarov E., Rasulova S., Guro V., Adinaev K., Rakhmatkarieva F., Ruziyev U., & Abdullaev F. (2025) Comparative kinetics of molybdenum disulfide oxidation in sodium hypochlorite and nitric acid solutions. E3S Web of Conferences, 627, 03001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202562703001>
- TI 00193950-71-04-013:2019 to replace TI 12810-5-1:2008. Technological Instructions for the Production of Molybdenum Salts (Ammonium Tetramolybdate and Paramolybdate). Tashkent: Uzstandard Publishing House, 2019.
- Waseda Y., Suito H. (1993) Oxidation of MoS_2 and WS_2 with sodium hypochlorite. Journal of Applied Electrochemistry.
- Yang D., Liu Z. (2014) Oxidation mechanisms of transition metal dichalcogenides. ACS Nano, — Vol. 8, No. 10. — P. 10245–10253.
- Zhang W., et al. (2016) Electrochemical oxidation of MoS_2 thin films. Electrochimica Acta, — Vol. 209. — P. 290–297.
- Гуляев А.П. (2004) Гидрометаллургия тугоплавких металлов. — М.: Металлургия. — 280 с.
- Куликова А.В., Никитенко С.И., Громов Д.А. (2020) Кинетика окислительного растворения MoS_2 в растворе гипохлорита натрия. Гидрометаллургия, — Т. 196. — С. 105383.
- Рассулова С.Н., Гуро В.П., Сафаров Е.Т. и др. (2020) Metals recovery from molybdenite concentrate by electrooxidation and leaching. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, — 848. — P. 012076. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/848/1/012076>
- Шерешевский И.А. (1980) Основы химии и технологии редких металлов. — М.: Наука. — 376 с.
- Шугаев К.В., Берман Г.П. (1980) Кинетика гетерогенных реакций. — М.: Наука. — 312 с.

References

- Bessonov A.A. & Fedorov S.V. (2017) Surface reactivity of layered MoS_2 . Russian Journal of Physical Chemistry, 91(5). — P. 879–885 (in English).
- Chou S. S., et al. (2015) Controlling the metal to semiconductor transition of MoS_2 and WS_2 . Journal of the American Chemical Society, 137(15). — P. 5087–5092 (in English).
- Cotton F.A., & Wilkinson G. (1999) Advanced inorganic chemistry (6th ed.). Wiley (in English).

- Gulyaev A.P. (2004) *Gidrometallurgiya tugoplavkikh metallov* [Hydrometallurgy of refractory metals]. Moscow: Metallurgiya (in Russian).
- Kulikova A. V., Nikitenko S. I., & Gromov D. A. (2020) Kinetika okislitel'nogo rastvoreniya MoS_2 v rastvore gipokhlrita natriya [Kinetics of oxidative dissolution of MoS_2 in sodium hypochlorite solution]. *Gidrometallurgiya* [Hydrometallurgy], 196, Article 105383 (in Russian).
- Lutsik V.I. & Sobolev A.E. (2009) Kinetics of hydrolytic and oxidative dissolution of metal sulfides. Tver, Russia: TSTU (in English).
- Rasooli A., Safari R., & Mohammadi M. (2016) Kinetics and mechanism of sulfide mineral oxidation by NaClO . *Hydrometallurgy*, 160. — P. 76–83 (in English).
- Rasulova S.N., Guro V.P., Safarov E.T., et al. (2020) Metals recovery from molybdenite concentrate by electrooxidation and leaching. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 848. — P. 012076. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/848/1/012076> (in English).
- Safarov E., Rasulova S., Guro V., Adinaev K., Rakhmatkariyeva F., Ruziyev U., & Abdullaev F. (2025) Comparative kinetics of molybdenum disulfide oxidation in sodium hypochlorite and nitric acid solutions. *E3S Web of Conferences*, 627, 03001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202562703001> (in English).
- Shereshevsky I. A. (1980) *Osnovy khimii i tekhnologii redkikh metallov* [Fundamentals of chemistry and technology of rare metals], Moscow: Nauka (In Russian).
- Shugaev K. V. & Berman G. P. (1980) Kinetika geterogennykh reaktsii [Kinetics of heterogeneous reactions]. Moscow: Nauka (in Russian).
- Technological Instructions TI 00193950-71-04-013:2019. (2019) Technological instructions for the production of molybdenum salts (ammonium tetramolybdate and paramolybdate). Tashkent: Uzstandart Publishing House (in English).
- Waseda Y. & Suito H. (1993) Oxidation of MoS_2 and WS_2 with sodium hypochlorite. *Journal of Applied Electrochemistry*, 23(8), — P. 807–812 (in English).
- Yang D. & Liu Z. (2014) Oxidation mechanisms of transition metal dichalcogenides. *ACS Nano*, 8(10). — P. 10245–10253 (in English).
- Zhang W., et al. (2016) Electrochemical oxidation of MoS_2 thin films. *Electrochimica Acta*, 209. — P. 290–297 (in English).

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

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

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

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

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

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

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

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

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

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 23.12.2025.

Формат 60х88¹/₈. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

13,5 п.л. Заказ 4.

«Central Asian Academic Research Center» LLP

Алматы, Қонаев к-сі, 142