

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF CHEMISTRY**

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

**№3
2025**

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



ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

3 (464)

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

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

ХУТОРЯНСКИЙ Виталий, философия докторы (PhD, фармацевт), 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 Драгметович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, заместитель директора по научной работе Института органического синтеза и углехимии (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

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

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

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

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

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

A.D. Alakhunova, L.E. Agibayeva, R.A. Mangazbayeva Obtaining of methylcellulose-based hydrogels using radiation treatment method.....	11
A.P. Auyeshov, K.T. Arynov, Ch.Z. Yeskibayeva Resource and economic efficiency of serpentinite waste utilization for the production of inorganic magnesium compounds.....	29
S. Duzelbayeva, B. Imangaliyeva, A. Aldiyarova, N. Sovet, B. Bakhtiyarov Production of biopolymer from starch as an alternative to artificial polymer and study of its biodegradable properties.....	41
G.D. Jetpisbayeva, B.K. Massalimova, V.A. Sadykov, A. Darmenbayeva, G.B. Aubakirova The influence of production methods on the selectivity and stability of Co-containing catalysts for Fischer-Tropsch synthesis.....	64
B.K. Kenzhaliyev, A.K. Koizhanova, T.Yu. Surkova, Z.D. Dosymbayeva, D.M. Yessimova Investigation of the modes and parameters of gold leaching from man-made raw materials.....	75
M.K. Kurmanaliev, Zh.E. Shaikhova, L.M. Kalimoldina, S.O. Abilkasova Synthesis and sorption properties of new selective sorbents based on crown ethers...	92
E. Kairatuly, E.K. Assembayeva, A.Zh Bozhbanov, D.E. Nurmukhanbetova, E.Zh. Gabdullina Evaluation of physicochemical indicators of combined fermented milk products....	102
A.B. Kuandykova, B.Zh. Dzhiembaev, N.I. Akylbekov, A.B. Dobrynin Molecular and crystal structures of 4-dimethoxyphosphoryltetrahydropyran (thiopyran)-4-ol.....	115
R.M. Kudaibergenova, S.A. Orynbayev, E.A. Baibazarova, K.B. Bulekbayeva, G.A. Seitbekova Technological pathways for sustainable wastewater treatment.....	127
G.M. Madybekova, A.B. Issayeva, B.Zh. Mutaliyeva, S.S. Bitursyn Physicochemical properties of microcapsules based on natural polymers containing probiotic microorganisms.....	140
M.M. Mataev, Z.B. Sarsenbayeva, M.A. Nurbekova, M.R. Abdraimova, K.Zh. Seitbekova Synthesis and morphological analysis of $\text{Fe}_{0.84}\text{Mn}_{1.12}\text{O}_3\text{-In}_{0.12}\text{Fe}_{1.88}\text{O}_3$ composite.....	155

Z. Muldakhmetov, S. Fazylov, O. Nurkenov, Zh. Akhmetkarimova, O. Seilkhanov Synthesis and properties of new naphthyl-containing thiosemicarbazides and thioureas.....	166
U. Nazarbek, P. Abdurazova, G. Kambarova, Y. Raiymbekov Machine learning-based prediction of temperature-driven solubility changes in aqueous salt solutions.....	184
R.S. Orazbekova, S.A. Tungatarova, A.E. Tolembek, A.O. Aidarova, M.K. Yerkibaeva Catalytic processing of renewable raw materials into hydrogen-containing fuel mixtures.....	194
S.K. Rakhimova, R.I. Jalmakhanbetova, G.K. Mukusheva, A.A. Asylbekova, Zh. Zh. Zhumagaliyeva Spectroscopic analysis of methanol extract of <i>Ziziphora bungeana</i> Juz. and study of its antibacterial activity.....	207
R.K. Rakhmetullaeva, B. Khavilkhairat, N.B. Sarova, G.O. Rvaidarova, A.N. Nurlybayeva Copolymers based on acrylic acid for water purification from heavy metal ions.....	219
A.N. Sabitova, Zh.S. Kassymova, R.E. Mukiyanova, B.B. Bayahmetova, N.N. Nurgaliyev Investigation of the effectiveness of metallurgical slags in fertilizer production.....	233
E.T. Talgatov, D.A. Bibatyrova, A.A. Naizabaev, S.A. Kuttybayeva, A.Z. Abilmagzhanov Selective hydrogenation of phenylacetylene over polymer-modified Pd catalysts immobilized on inorganic supports.....	243
S. Tyanakh, T.O. Khamitova, A.P. Nauanova, D.M. Kereevna, A.S. Darmenbayeva Study of the properties of humic acids synthesized from brown coal of the Kuznetsk and the Kumuskuduk deposits.....	255
A.A. Turgunbaeva, G.N. Gemejiyeva, N.A. Sultanova Investigation of the chemical composition of the chloroform extract of <i>Rheum Tataricum</i> L. f. By gas-chromatography.....	275

МАЗМҰНЫ

Ә.Д. Алахунова, Л.Ә. Агибаева, Р.А. Мангазбаева

Метилцеллюлоза негізінде гидрогельдерді радиациялық өңдеу әдісімен алу.....11

А.П. Ауешов, К.Т. Арынов, Ч.З. Ескибаева

Магнийдің бейорганикалық қосылыстарын алу мақсатында серпентинитті қайта өңдеудің ресурстық және экономикалық тиімділігі.....29

С. Дузелбаева, Б. Иманғалиева, А. Алдиярова, Н. Совет, Б. Бақтияров

Жасанды полимерге балама ретінде крахмалдан биополимер алу және оның биоыдырау қасиеттерін зерттеу.....41

Г.Д. Джетписбаева, Б.К. Масалимова, В.А. Садыков, А. Дарменбаева, Г.Б. Аубакирова

Фишер-Тропш синтезінің Со-құрамды катализаторларының талғамдылығы мен тұрақтылығына дайындау әдістерінің әсері.....64

Б.К. Кенжалиев, А.К. Койжанова, Т.Ю. Суркова, З.Д. Досымбаева, Д.М. Есимова

Техногендік шикізаттан алтынды сілтілеудің режимдері мен параметрлерін зерттеу.....75

М.Қ. Құрманалиев, Ж.Е. Шаихова, Л.М. Калимолдина, С.О. Әбілқасова

Краун-эфирлер негізіндегі жаңа талғамды сорбенттердің синтезі мен сорбциялық қасиеттері.....92

Е. Қайратұлы, Э. К. Асембаева, А.Ж. Божбанов, Д.Е. Нурмуханбетова, Е.Ж. Габдуллина

Құрамдастырылған сүтқышқылды өнімдердің физика-химиялық көрсеткіштерін бағалау.....102

А.Б. Қуандықова, Б.Ж. Джиембаев, Н.И. Акылбеков, А.Б. Добрынин

4-Диметоксифосфорилтетрагидропиран(тиопиран)-4-олдардың молекулалық және кристалдық құрылымдары.....115

Р.М. Құдайбергенова, С.А. Орынбаев, Е.А. Байбазарова, Қ.Б. Бөлекбаева, Г.А. Сейтбекова

Ағынды суларды тұрақты тазартудың технологиялық жолдары.....127

Г.М. Мадыбекова, А.Б. Исаева, Б.Ж. Муталиева, С.С. Битурсын

Табиғи полимерлер негізіндегі, пробиотикалық микроорганизмдер қамтылған микрокапсулалардың физика-химиялық қасиеттері.....140

М.М. Матаев, З.Б. Сарсенбаева, М.А. Нурбекова, М.Р. Абдраимова, К.Ж. Сейтбекова $\text{Fe}_{0.84}\text{Mn}_{1.12}\text{O}_3\text{-IN}_{0.12}\text{Fe}_{1.88}\text{O}_3$ композитінің синтезі және морфологиялық талдауы.....	155
З. Молдахметов, С. Фазылов, О. Нүркенов, Ж. Ахметкәрімова, О. Сейілханов Жаңа нафтилді тиосемикарбазидтер мен тиомочевиналардың синтезі мен қасиеттері.....	166
У. Назарбек, П. Абдуразова, Ғ. Қамбарова, Е. Райымбеков Сулы ерітінділердегі тұздардың ерігіштігінің температуралық өзгерістерін машиналық оқыту әдістерімен болжау.....	184
Р.С. Оразбекова, С.А. Тунгатарова, А.Е. Төлембек, А.О. Айдарова, М.Қ. Еркібаева Жаңартылатын шикізатты құрамында сутегі бар отын қоспаларына дейін каталитикалық өңдеу.....	194
С.Қ. Рахимова, Р.И. Джалмаханбетова, Г.К. Мукушева, А.А. Асылбекова, Ж.Ж. Жумағалиева <i>Ziziphora Bungeana</i> Juz. метанолды сығындысын спектроскопиялық талдау және оның бактерияға қарсы белсенділігін зерттеу.....	207
Р.Қ. Рахметұллаева, Б. Хавилхайрат, Н.Б. Сарова, Г.О. Рвайдарова, А.Н. Нурлыбаева Ауыр металл иондарынан су тазалауға арналған акрил қышқылы негізіндегі сополимерлер.....	219
А.Н. Сабитова, Ж.С. Касымова, Р.Е. Мукиянова, Б.Б. Баяхметова, Н.Н. Нургалиев Тыңайтқыштар өндірісіндегі металлургиялық шлактардың тиімділігін зерттеу.....	233
Э.Т. Талғатов, Д.А. Бибатырова, А.А. Найзабаев, Ш.Ә. Құттыбаева, А.З. Абильмагжанов Бейорганикалық тіректерде иммобилизацияланған полимермен модификацияланған PD катализаторлары бойынша фенилацетиленді селективті гидрогенизациялау.....	243
С. Тянах, Т.О. Хамитова, А.П. Науанова, Д.М. -Кереевна, А.С. Дарменбаева Кузнецк және Күмісқұдық қоңыр көмірінен синтезделіп алынатын гумин қышқылдарының қасиеттерін зерттеу.....	255
А.А. Тургунбаева, Н.Г. Гемеджиева, Н.А. Султанова <i>Rheum Tataricum L. f.</i> өсімдігінің хлороформ сығындысының химиялық құрамын газ хроматография әдісімен зерттеу.....	275

СОДЕРЖАНИЕ

A.D. Alakhunova, L.E. Agibayeva, R.A. Mangazbayeva Получение гидрогелей на основе метилцеллюлозы методом радиационной обработки.....	11
A.P. Auyeshov, K.T. Arynov, Ch.Z. Yeskibayeva Ресурсная и экономическая эффективность утилизации отходов серпентинита для производства неорганических соединений магния.....	29
S. Duzelbayeva, B. Imangaliyeva, A. Aldiyarova, N. Sovet, B. Bakhtiyarov Получение биополимера из крахмала как альтернатива искусственному полимеру и исследование его биоразлагаемых свойств.....	41
G.D. Jetpisbayeva, B.K. Massalimova, V.A. Sadykov, A. Darmenbayeva, G.B. Aubakirova Влияние методов получения на селективность и стабильность катализаторов, содержащих кобальт, для синтеза по Фишеру-Тропшу.....	64
B.K. Kenzhaliyev, A.K. Koizhanova, T.Yu. Surkova, Z.D. Dosymbayeva, D.M. Yessimova Исследование режимов и параметров выщелачивания золота из техногенного сырья.....	75
M.K. Kurmanaliev, Zh.E. Shaikhova, L.M. Kalimoldina, S.O. Abilkasova Синтез и сорбционные свойства новых селективных сорбентов на основе краун-эфиров.....	92
E. Kairatuly, E.K. Assembayeva, A.Zh. Bozhbanov, D.E. Nurmukhanbetova, E.Zh. Gabdullina Оценка физико-химических показателей комбинированных кисломолочных продуктов.....	102
A.B. Kuandykova, B.Zh. Dzhiembaev, N.I. Akylbekov, A.B. Dobrynin Молекулярные и кристаллические структуры 4-диметоксифосфорилтетрагидропиран(тиопиран)-4-ола.....	115
R.M. Kudaibergenova, S.A. Orynbayev, E.A. Baibazarova, K.B. Bulekbayeva, G.A. Seitbekova Технологические пути устойчивой очистки сточных вод.....	127
G.M. Madybekova, A.B. Issayeva, B.Zh. Mutaliyeva, S.S. Bitursyn Физико-химические свойства микрокапсул на основе природных полимеров, содержащих пробиотические микроорганизмы.....	140

M.M. Mataev, Z.B. Sarsenbayeva, M.A. Nurbekova, M.R. Abdraimova, K.Zh. Seitbekova Синтез и морфологический анализ композита Fe _{0.84} Mn _{1.12} O ₃ -In _{0.12} Fe _{1.88} O ₃	155
Z. Muldakhmetov, S. Fazylov, O. Nurkenov, Zh. Akhmetkarimova, O. Seilkhanov Синтез и свойства новых нафтилилсодержащих тиосемикарбазидов и тиомочевин.....	166
U. Nazarbek, P. Abdurazova, G. Kambarova, Y. Raiymbekov Прогнозирование изменений растворимости солей в воде в зависимости от температуры с использованием машинного обучения.....	184
R.S. Orazbekova, S.A. Tungatarova, A.E. Tolembek, A.O. Aidarova, M.K. Yerkibaeva Каталитическая переработка возобновляемого сырья в водородсодержащие топливные смеси.....	194
S.K. Rakhimova, R.I. Jalmakhanbetova, G.K. Mukusheva, A.A. Asylbekova, Zh. Zh. Zhumagaliyeva Спектроскопический анализ метанольного экстракта <i>Ziziphora bungeana</i> Juz. и исследование его антибактериальной активности.....	207
R.K. Rakhmetullaeva, B. Khavilkhairat, N.B. Sarova, G.O. Rvaidarova, A.N. Nurlybayeva Кополимеры на основе акриловой кислоты для очистки воды от ионов тяжёлых металлов.....	219
A.N. Sabitova, Zh.S. Kassymova, R.E. Mukiyanova, B.B. Bayahmetova, N.N. Nurgaliev Исследование эффективности металлургических шлаков при производстве удобрений.....	233
E.T. Talgatov, D.A. Bibatyrova, A.A. Naizabaev, S.A. Kuttybayeva, A.Z. Abilmagzhanov Селективное гидрирование фенилэтина на модифицированных полимерах PD-катализаторах, иммобилизованных на неорганических носителях.....	243
S. Tyanakh, T.O. Khamitova, A.P. Nauanova, D.M. Kereevna, A.S. Darmenbayeva Исследование свойств гуминовых кислот, синтезированных из бурого угля Кузнецкого и Кумускудукского месторождений.....	255
A.A. Turgunbaeva, G.N. Gemejiyeva, N.A. Sultanova Исследование химического состава хлороформного экстракта <i>Rheum</i> <i>Tataricum</i> L. f. методом газовой хроматографии.....	275

© **B.K. Kenzhaliyev, A.K. Koizhanova, T.Yu. Surkova, Z.D. Dosymbayeva*, D.M. Yessimova, 2025.**

Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Satbayev University,
Almaty, Kazakhstan.
E-mail*: zdos@mail.ru

INVESTIGATION OF THE MODES AND PARAMETERS OF GOLD LEACHING FROM MAN-MADE RAW MATERIALS

B.K. Kenzhaliyev — Doctor of Technical Sciences, Professor, General Director-Chairman of the Management Board of the Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,

Email: bagdaulet_k@satbayev.university, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>;

A.K. Koizhanova — Candidate of technical sciences, head of the laboratory of special methods of hydrometallurgy, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, Email: a.koizhanova@satbayev.university, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9358-3193>;

T.Yu. Surkova — Candidate of technical sciences, a leading researcher of a laboratory of special methods of hydrometallurgy named after B.B. Beisembayev, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,

Email: t.surkova@satbayev.university, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8271-125X>;

Z.D. Dossymbayeva — Researcher, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,

Email: z.dossymbayeva@satbayev.university, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9144-208X>;

D.M. Yessimova — Researcher, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,

Email: d.yessimova@satbayev.university, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1582-6732>.

Abstract. Extraction of gold from man-made raw materials represented by heavy tailings of sorption leaching requires an integrated approach combining physico-chemical and biotechnological methods. This paper presents the results of research options for the extraction of gold from spent stale tailings of sorption leaching using biooxidation with an adapted culture of *A. ferrooxidans*, an oxidizer - trichloroisocyanuric acid (TCCA), direct cyanidation, flotation and gravity enrichment, as well as reverse coal flotation using kerosene. A detailed analysis of the basic elemental composition was previously carried out. Mineralogical analysis of the samples showed that the stale tailings sample is represented by more complex and diverse phase components. Thus, arsenopyrite, pyrite, quartz, and other compounds are present in significant amounts in the sample. Detailed electron microscopic analysis of accumulations of gold particles in a sample

of stale tails showed the presence of carbon in the spectra, as well as arsenic, sulfur, and iron, which is typical for the sulfide minerals pyrite and arsenopyrite. To extract gold from the stale tailings of sorption leaching, the method of reverse coal flotation using kerosene was chosen. The main task is to remove carbon with minimal loss of gold. The optimal separation of carbon and gold was achieved by adjusting the degree of grinding (60, 75 and 90% grade -0.071 mm). This made it possible to concentrate gold in the flotation tailings, reducing the sorption properties of the pulp and increasing the efficiency of subsequent leaching. Experiments have shown that the best final gold recovery (78.25%) is achieved by reverse tailings flotation with grinding to 60% of the -0.071 mm grade and subsequent oxidative leaching using TCCA. Despite the higher extraction (91.67%) when grinding up to 90% of the -0.071 mm grade, the total extraction from the feedstock turned out to be lower — 62.91%. The coal concentrate obtained during flotation has a high purity and is suitable for reuse in sorption.

Keywords: technogenic raw materials, leaching, oxidation, gold, sorption tailings

© **Б.К. Кенжалиев, А.К. Койжанова, Т.Ю. Суркова, З.Д. Досымбаева*, Д.М. Есимова, 2025.**

Металлургия және кен байыту институты, Сәтбаев университеті,
Алматы, Қазақстан.
E-mail*: zdos@mail.ru

ТЕХНОГЕНДІК ШИКІЗАТТАН АЛТЫНДЫ СІЛТІЛЕУДІҢ РЕЖИМДЕРІ МЕН ПАРАМЕТРІЛЕРІН ЗЕРТТЕУ

Б.К. Кенжалиев — техника ғылымдарының докторы, профессор, Metallургия және кен байыту институты АҚ Бас директоры – Басқарма төрағасы, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан, Email: bagdaulet_k@satbayev.university, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>;

А.К. Қойжанова — техникалық ғылымдар кандидаты, зертхана меңгерушісі, Metallургия және кен байыту институты АҚ, Сәтбаев Университеті, Алматы, Қазақстан, Email: a.koizhanova@satbayev.university, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9358-3193>;

Т.Ю. Суркова — техника ғылымдарының кандидаты, Б.Б. Бейсембаев атындағы гидрометаллургияның арнайы әдістері зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Metallургия және кен байыту институты АҚ, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан, Email: t.surkova@satbayev.university, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8271-125X>;

З.Д. Досымбаева — ғылыми қызметкер, Metallургия және кен байыту институты АҚ, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан, Email: z.dosymbayeva@satbayev.university, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9144-208X>;

Д.М. Есимова — ғылыми қызметкер, Metallургия және кен байыту институты АҚ, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан, Email: yessimova@satbayev.university, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1582-6732>.

Аннотация. Техногендік шикізат — сорбциялық шаймалау қалдықтарынан алтын алу физика-химиялық және биотехнологиялық әдістерді біріктіретін кешенді тәсілді қажет етеді. Бұл жұмыста А. ferrooxidans бейімделген дақылымен био тотығуды, тотықтырғышты — трихлоризоцианур қышқылын (ТХЦҚ), тікелей циандауды, флотациялық және гравитациялық байытуды,

сондай-ақ керосиннің қатысуымен, кері көмір флотациясын қолдана отырып, пайдаланылған сорбциялық шаймалау қалдықтарынан алтын алуды зерттеу нұсқаларының нәтижелері келтірілген. Алдын-ала негізгі элементтік құрамға егжей-тегжейлі талдау жүргізілді. Сынамалардың минералогиялық талдауы көрсеткендей, сорбция қалдықтардың сынамасы күрделі және әртүрлі фазалық компоненттермен ұсынылған. Сонымен қатар, сынамада айтарлықтай мөлшерде арсенопирит, пирит, кварц және басқа қосылыстар бар. Ескі қалдықтардағы жинақталған алтын бөлшектерінің егжей-тегжейлі электронды-микроскопиялық талдауы пирит пен арсенопириттің сульфидті минералдарына тән көміртегі, сондай-ақ мышьяк, күкірт, темір спектрлерін бар екендігін көрсетті. Сорбциялық шаймалау қалдықтарынан алтын алу үшін керосинді қолдана отырып, көмірді кері флотациялау әдісі таңдалды. Негізгі міндет — алтынның аз шығынымен көміртекті кетіру. Көміртек пен алтынды оңтайлы бөлуге ұнтақтау дәрежесін реттеу арқылы қол жеткізілді (60, 75 және 90% класс -0,071 мм). Бұл пульпаның сорбциялық қасиеттерін төменде және кейінгі сілтілеу тиімділігін арттыра отырып алтынды флотация қалдықтарына шоғырландыруға мүмкіндік берді. Тәжірибелер көрсеткендей, ең жақсы алтынның алынуы (78,25 %) қалдықтарды 60 % -0,071 мм сыныпқа дейін ұнтақтау арқылы кері флотациялау кезінде және кейіннен ТХЦҚ қолдану арқылы тотықтыра сілтілеу әдісімен қол жеткізіледі. 90% -0,071 мм — ге дейін ұнтақтау кезінде алтынның жоғары мөлшерде алынуына (91,67%) қарамастан, бастапқы шикізаттан жалпы алтынның алынуы төмен 62,91% болды. Флотация кезінде алынған көмір концентраты жоғары тазалыққа ие және сорбцияда қайта пайдалануға жарамды.

Түйін сөздер: техногенді шикізат, сілтілеу, тотығу, алтын, сорбция қалдықтары

© **Б.К. Кенжалиев, А.К. Койжанова, Т.Ю. Суркова, З.Д. Досымбаева*, Д.М. Есимова, 2025.**

АО «Институт металлургии и обогащения», Satbayev University,
Алматы, Казахстан.

E-mail*: zdos@mail.ru, z.dossymbayeva@satbayev.university

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ И ПАРАМЕТРОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Б.К. Кенжалиев — доктор технических наук, профессор, генеральный директор АО «Институт металлургии и обогащения», Satbayev University, Алматы, Казахстан,
Email: bagdaulet_k@satbayev.university, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>;

А.К. Койжанова — кандидат технических наук, заведующая лабораторией спецметодов гидрометаллургии, АО «Институт металлургии и обогащения», Satbayev University, Алматы, Казахстан,
Email: aigul_koizhan@mail.ru, a.koizhanova@satbayev.university, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9358-3193>;

Т.Ю. Суркова — кандидат технических наук., ведущий научный сотрудник лаборатории спецметодов гидрометаллургии, АО «Институт металлургии и обогащения», Satbayev University, Алматы, Казахстан,

Email: t.surkova@satbayev.university, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-8271-125X>;

З.Д. Досымбаева — научный сотрудник, АО «Институт металлургии и обогащения», Satbayev University, Алматы, Казахстан,

Email: z.dosymbaeva@satbayev.university, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-9144-208X>;

Д.М. Есимова — научный сотрудник, АО «Институт металлургии и обогащения», Satbayev University, Алматы, Казахстан,

Email: d.yessimova@satbayev.university, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-1582-6732>.

Аннотация. Извлечение золота из техногенного сырья, представленного лежалыми хвостами сорбционного выщелачивания, требует комплексного подхода, сочетающего физико-химические и биотехнологические методы. В настоящей работе приведены результаты вариантов исследований извлечения золота из отработанных лежалых хвостов сорбционного выщелачивания с применением биоокисления адаптированной культурой *A. ferrooxidans*, окислителя - трихлоризоциануровой кислоты (ТХЦК), прямого цианирования, флотационного и гравитационного обогащения, а также обратной угольной флотации с применением керосина. Предварительно проводился подробный анализ основного элементного состава. Минералогический анализ проб показал, что образец лежалых хвостов представлен более сложными и разнообразными фазовыми компонентами. Так, в пробе в значительном количестве присутствуют арсенопирит, пирит, кварц и другие соединения. Детальный электронно-микроскопический анализ скоплений частиц золота в образце лежалых хвостов показал наличие в спектрах углерода, а также мышьяка, серы, железа, что характерно для сульфидных минералов пирита и арсенопирита. Для извлечения золота из лежалых хвостов сорбционного выщелачивания выбран метод обратной угольной флотации с применением керосина. Основная задача — удаление углерода с минимальными потерями золота. Оптимальное разделение углерода и золота достигалось за счёт регулирования степени помола (60, 75 и 90 % класса -0,071 мм). Это позволило сосредоточить золото в хвостах флотации, снижая сорбционные свойства пульпы и повышая эффективность последующего выщелачивания. Эксперименты показали, что наилучшее итоговое извлечение золота (78,25 %) достигается при обратной флотации хвостов с измельчением до 60 % класса -0,071 мм и последующим окислительным выщелачиванием с применением ТХЦК. Несмотря на более высокое извлечение (91,67 %) при помоле до 90 % класса -0,071 мм, общее извлечение от исходного сырья оказалось ниже — 62,91 %. Угольный концентрат, получаемый при флотации, обладает высокой чистотой и пригоден для повторного использования в сорбции.

Ключевые слова: техногенное сырьё, выщелачивание, окисление, золото, хвосты сорбции

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21882140).

Введение. Современное производство цветных и благородных металлов сопровождается стабильным ростом объёмов горных работ, что приводит к значительным накоплениям вскрышных пород в виде отвалов, а также к расширению старых и образованию новых хвостохранилищ за счет образующихся в промышленном цикле техногенных отходов. В результате формируются техногенные месторождения, содержащие промышленно значимые концентрации полезных компонентов, сопоставимые с бедными рудами, вовлекаемыми в переработку. Полезные компоненты в подобных отходах, включая золото и цветные металлы, как правило, сосредоточены в мелких фракциях и находятся в труднодоступных минеральных формах. Существенную экологическую опасность представляют сульфидные и мышьяксодержащие составляющие этих отходов. Одним из таких типов техногенного сырья являются лежалые хвосты золотообогатительных фабрик (Kenzhaliyev, et.al., 2024).

Извлечение золота из упорного техногенного сырья, где металл связан с сульфидами, покрыт окисными пленками или заключён в кислоторастворимых минералах в тонкодисперсной форме, представляет собой актуальную технологическую задачу. Её решение возможно с применением современных методов доизвлечения металлов и повторного вовлечения отходов в переработку (Kanayev et.al., 2013; Toktar et.al., 2023). В последнее время сырьевая база благородных и цветных металлов претерпевает существенные изменения. Наряду с традиционными сульфидными, окисленными и смешанными рудами в переработку всё активнее вовлекаются месторождения, содержащие значительное количество сланцевых пород. Золотоносные руды, как правило, характеризуются присутствием свободного, преимущественно тонкодисперсного золота, равномерно распределённого в минеральной матрице.

В зависимости от минералогического состава руды и степени дисперсности золота в настоящее время применяются три основные технологические схемы переработки: гравитационное обогащение; флотационное обогащение; выщелачивание с предварительным окислением минерального сырья. В настоящее время основным реагентом, применяемым в гидрометаллургическом извлечении золота, остаётся цианид натрия. Процесс цианирования осуществляется с использованием различных концентраций цианида, определяемых исходным содержанием благородных металлов в сырье. В качестве сопутствующих реагентов часто применяются окислители с различными механизмами действия.

Для интенсификации процесса цианирования используются следующие приёмы: повышение температуры, снижение вязкости раствора, аэрация, а также введение ускоряющих реагентов. В научной литературе накоплен значительный объём данных, посвящённых ускорению цианирования благородных металлов с использованием химических добавок. К основным преимуществам такого подхода относятся высокая технологичность, возможность интеграции в действующий производственный цикл без необходимости его кардинальной перестройки, а также отсутствие потребности в специальном оборудовании и высококвалифицированном персонале. Вместе с тем, одним из недостатков

является потенциальное увеличение экологической нагрузки. Однако этот фактор может быть минимизирован за счёт применения экологически безопасных добавок.

В связи с этим, поиск более доступных, эффективных и экологически приемлемых ускорителей представляет собой актуальное направление в совершенствовании технологии интенсивного цианирования золоторудного сырья (Toktar et.al., 2022). Применение окислителей в процессе выщелачивания золота преследует различные цели и реализуется посредством разнообразных подходов, отличающихся по механизму действия. В одних случаях окислительный реагент выступает в роли катализатора основного процесса цианирования, усиливая скорость и полноту растворения золота. В других – его основная функция заключается во вскрытии золотовмещающих минералов для повышения доступности металла. Дополнительно, окислители могут использоваться для предварительной очистки минерального сырья от вредных примесей и сопутствующих элементов, мешающих эффективному цианированию. Несмотря на сохраняющееся широкое применение цианидных растворов в качестве основного выщелачивающего реагента, на большинстве золотоизвлекательных предприятий, в последние годы ведутся активные исследования, направленные на разработку альтернативных безцианидных методов извлечения благородных металлов (Tanriverdi et.al., 2005; Ivannikov et.al., 2013). Однако эффективная реализация таких технологий требует учета окислительно-восстановительных потенциалов и других химических характеристик альтернативных реагентов.

Помимо повышения эффективности растворения золота, важной задачей остаётся разложение вмещающих его сульфидных минералов, особенно тех, которые не поддаются извлечению флотационными методами из-за наличия углеродсодержащих примесей. Минералогические особенности техногенного сырья, в частности хвостов сорбционного выщелачивания, также значительно затрудняют применение традиционных методов цианирования. Высокое содержание органического углерода в таких хвостах обуславливает выраженные сорбционные свойства, что требует дополнительной подготовки сырья (Sasaki et.al., 2024; Sakai et.al., 2022; Kenzhaliyev et.al., 2021).

Одним из возможных решений является применение углеродной флотации с использованием керосиновых собирателей, позволяющее перевести углеродсодержащие компоненты в отдельный концентрат (Zhang et.al., 2023; Cheng et.al., 2023; Kromah et.al., 2022; Loukola-Ruskeeniemi et.al., 2023). Получаемые при этом очищенные минеральные хвосты могут быть далее подвергнуты выщелачиванию с предварительным окислением пульпы (Kim et.al., 2024) либо термической обработке (обжигу) (Ma et.al., 2023).

В ряде технологий предусмотрена обработка сульфидных золотовмещающих минералов серной кислотой под высоким давлением с одновременной подачей кислорода (Liu et.al., 2023). Наряду с физико-химическими методами интенсификации разрушения сульфидной матрицы, активное развитие получают биооксидативные технологии (Li et.al., 2024).

Согласно недавнему исследованию 2024 года, эффективность бактериального окисления арсенопирита значительно возрастает при его совместном присутствии с пиритом. При этом было установлено, что биологическое воздействие обеспечивает более экологически безопасное разложение арсенопирита по сравнению с традиционными методами окисления (Zhang et.al., 2024). Экологические риски, связанные с разложением арсенопиритов, требуют особого внимания при выборе окислительных агентов, так как некоторые методы могут приводить к образованию и выбросу токсичных форм мышьяка (Chen et.al., 2022; Martínez-Mendoza, et.al., 2020; Koizhanova et.al., 2020). Таким образом, из представленного краткого обзора видно, что на выбор технологии переработки некондиционного золотосодержащего сырья, особенно при наличии таких примесей как арсенопирит и высоком содержании органического углерода, большую роль играют минералогические и химические особенности техногенного сырья.

Материалы и основные методы. Для проведения исследований по выщелачиванию золота из техногенного упорного сырья и продуктов его обогащения использовали отработанные лежалые хвосты сорбционного выщелачивания. Окисление пробы с помощью трихлоризоциануровой кислоты (ТХЦК) осуществлялось в течение 8 часов, с последующим поднятием pH до уровня 10,5 и цианированием. Бактериальное окисление пульпы лежалых хвостов велось в течение недели культурой *A. Ferrooxidans*. Общее содержание углерода находилось в диапазоне 10-15 %, определялось химическим методом анализа, т.к. рентгенофазовый метод не позволяет обнаруживать спектры элементов с атомным числом меньше 16 (кислород). Подробный анализ основного элементного состава проводился на рентгенофлуоресцентном волнодисперсионном спектрометре Venus 200 «PANalytical». Результаты рентгенофлуоресцентного анализа проб исходных лежалых хвостов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты рентгенофлуоресцентного анализа проб исходных лежалых хвостов сорбции

Элемент	Содержание, %	Элемент	Содержание, %
O	41,041	Mn	0,011
Na	0,875	Fe	11,726
Al	4,983	Co	0,041
Si	19,690	Cu	0,107
P	0,044	Ga	0,006
S	4,220	As	13,534
Cl	0,045	Rb	0,011
K	1,0134	Sr	0,007
Ca	2,222	Zr	0,016
Ti	0,252	Bi	0,036

Минералогический анализ проб осуществлялся под микроскопом марки OLYMPUSBX – 51, в иммерсионных средах и в полированных искусственных

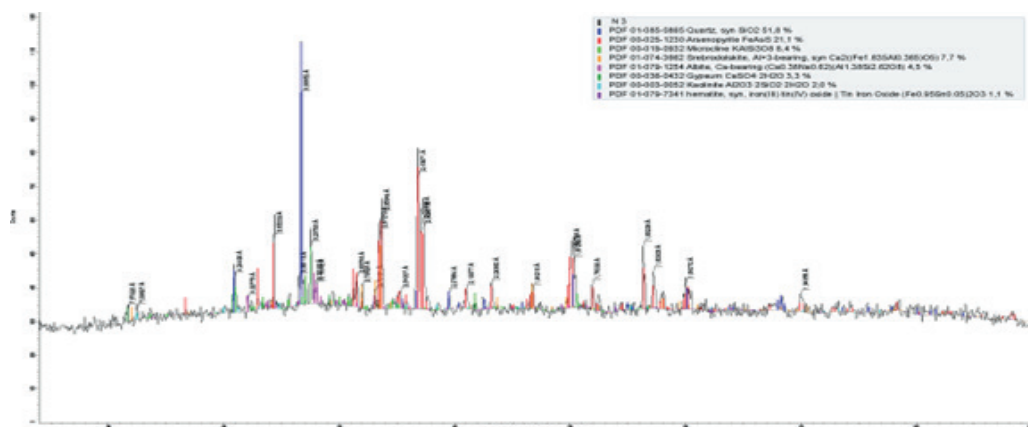
брикетах, изготовленных из изучаемого материала, микроскопом в брикетах в отраженном свете и в иммерсионных препаратах из сыпучего материала проб. В иммерсионных препаратах изучался состав нерудной составляющей пробы и продуктов обогащения, в искусственных полированных аншлифах – брикетах рудные минералы. Съемка минералов с определением их состава, выполнялась при режимах: COMPO, WDS. Метод растровой электронной микроскопии (РЭМ) и рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) выполнен на приборе JEOL - JXA-8230.

Полученные после выщелачивания продуктивные растворы и твердые остатки анализировались на содержание золота на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ИСП) Optima8000DV и квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой, ICAP-Q «Thermo Fisher Scientific.

Результаты и обсуждение. Лежалые хвосты сорбционного выщелачивания существенно отличается физико-химическими свойствами и минералогическим составом от минерального сырья текущего производства обогатительной фабрики (исходные руды, хвосты флотации и др.). Содержание золота в образцах лежалых хвостов сорбции находится в диапазоне 3,5 – 5,0 г/т. Размер рудных частиц в среднем представлен классом минус 0,071 мм, с наличием окомкования и прессовки некоторых фрагментов. В отличии от проб исходной руды, с преобладающим силикатным составом и незначительными вкраплениями золотомещающих сульфидов, образец лежалых хвостов сорбции представлен более сложными и разнообразными фазовыми компонентами. Так, в пробе в значительном количестве присутствуют арсенопирит, пирит, кварц и другие соединения (Таблица 2). Также характерно высокое содержание углеродсодержащих соединений – уголь, органика и карбонаты.

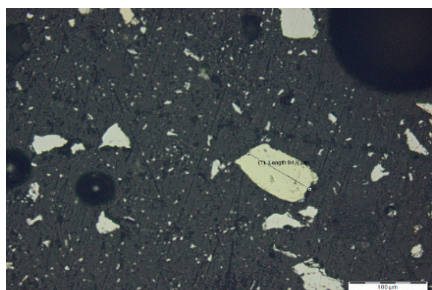
Таблица 2 – Рентгенофазовый анализ проб лежалых хвостов

Название компонента	Формула	S-Q
Кварц	SiO_2	51,8%
Арсенопирит	FeAsS	21,1%
Микроклин	KAlSi_3O_8	8,4%
Сребродольскит, содержащий Al+3,	$\text{Ca}_2((\text{Fe}1.635\text{Al}0.365)\text{O}_5)$	7,7%
Альбит	$(\text{Ca}0.38\text{Na}0.62)(\text{Al}1.38\text{Si}2.62\text{O}_8)$	4,5%
Гипс	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,3%
Каолинит	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,0%
Гематит, син. оксид железа(III), олова(IV) Оксид железа-олова	$(\text{Fe}0.95\text{Sn}0.05)\text{O}_3$	1,1%



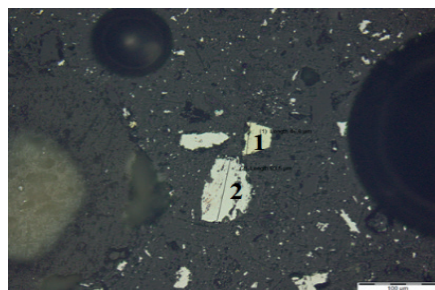
Дифрактограмма пробы исходной пробы хвостов сорбции

В пробе из рудных минералов встречаются пириты и арсенопириты. Пирит (FeS_2) - желтый и изотропный минерал. Наблюдается в основном в виде отдельных зерен ангдральной формы с извилистыми границами. Размер зерен составляет 94,6 мкм (рисунок 1).



а

Пирит, ув. 200



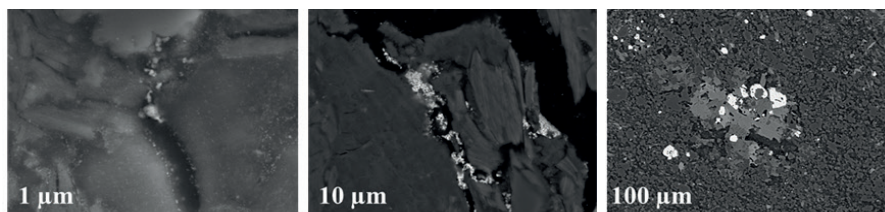
б

Пирит (1) и арсенопириты (2), ув. 200

Рисунок 1 - Минералогический анализ исходной пробы лежалых хвостов

Арсенопирит - белый минерал. Наблюдается в виде свободных зерен ангдральной формы. Размер зерен достигает до 93,5 мкм.

Детальный электронно-микроскопический анализ скоплений частиц золота в образце лежалых хвостов, показал спектры углерода, а также мышьяка, серы, железа, что характерно для сульфидных минералов пирита и арсенопирита (рисунок 2).



Среднее содержание элементов в минеральных частицах, %

C	S	As	O	Ca	Fe	Si	Al	Na	Cu	Au
15.10	14.81	13.43	11.2	8.74	8.32	7.83	5.94	3.53	1.88	9.22

Рисунок 2 - Электронно-микроскопический анализ минеральных золотосодержащих частиц лежалых хвостов сорбции

Первоначальные эксперименты по выщелачиванию золота из хвостов сорбции включали варианты окислительной обработки. С учетом физических свойств данного сырья выщелачивание было возможным только агитационным чановым методом. Окисление пробы с помощью трихлоризоциануровой кислоты (ТХЦК) осуществлялось в течение 8 часов, с последующим поднятием pH до уровня 10,5 и цианированием. Бактериальное окисление пульпы лежалых хвостов велось в течение недели культурой *A. Ferrooxidans*, штаммом, адаптированным к высоким концентрациям содержащих мышьяк соединений, после чего также производилось повышение pH среды до 10,5 и цианирование. В качестве контрольного теста для сравнения выступал вариант простого цианирования без окислительной обработки. Исходное содержание золота в усредненных пробах составляло 4,1 г/т. Масса каждой экспериментальной навески составляла 10 кг. Концентрация цианида натрия в выщелачивающем растворе составляла 0,3 %, соотношение Т:Ж = 1 : 3. Агитационное выщелачивание велось в течение 24 часов.

Полученные после выщелачивания продуктивные растворы и твердые остатки анализировались на содержание золота. На основании полученных результатов производились расчеты баланса и извлечения благородного металла при каждом методе выщелачивания, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты агитационного выщелачивания пробы лежалых хвостов сорбции

Условия	Исх. Ац, г/т	Кек Ау, г/т	Раствор Ау, мг/л	V, л	Извлечение, %	
					по кеку	по раствору
ЛХ только CN 0,3%	4,1	3,35	0,25	28	18,3	17,1
ЛХ окисление ТХЦК, CN 0,3%	4,1	2,1	0,72	27	48,8	47,4
ЛХ окисление био, CN 0,3%	4,1	1,45	1,05	25	64,6	64,0

В результате максимальное извлечение золота было отмечено при предварительном окислении минеральной пульпы лежалых хвостов сорбции адаптированным бактериальным штаммом *A. Ferrooxidans*. При концентрации золота 1,05 мг/л извлечение составило 64,0 %. Остаточное содержание золота в

отработанном твердом остатке было определено на уровне 1,45 г/т, что также дает схожий показатель извлечения равный 64,6 %. Использование ТХЦК в качестве окислителя позволило извлечь 47,4-48,8 % золота, с учетом его концентрации в растворе равной 0,72 мг/л и остаточном содержании 2,1 г/т в твердом остатке. Простым прямым цианированием удалось извлечь только 17,1-18,3 % золота, при его концентрации в растворе 0,25 г/л и остатке в кеке 3,35 г/т.

Стандартные методы обогащения лежалых хвостов сорбции не способны обеспечить эффективное выделение золота в концентраты. Так, значительное содержание углерода существенно затрудняет извлечение золота в концентрат, а его равномерное распределение в минералах с разной плотностью не дает возможности наработки гравитационных концентратов. Примеры обогащения хвостов сорбции стандартными методами представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Обогащение лежалых хвостов сорбции стандартными методами

Наименование продуктов	Выход, %	Au, г/т	E Au, %
Флотационное обогащение			
Конц	11,62	4,90	13,87
Хвосты	88,38	4,00	86,13
Итого:	100,00	4,10	100,00
Гравитационное обогащение			
Конц	41,91	4,25	43,39
Хвосты	58,09	4,00	56,61
Итого:	100,00	4,10	100,00

С учетом минералогического состава и физико-химических свойств хвостов сорбционного выщелачивания, а также результатов стандартных методов обогащения, был выбран вариант обратной флотации. Данный метод предусматривал оптимальное разделение углерода и золота в процессе угольной флотации с использованием керосина. При этом основной целью было максимально возможное удаление углерода в концентрат, при минимальном переходе золота. В результате накопление золота происходит преимущественно в хвостах обратной угольной флотации, которые в дальнейшем подвергаются выщелачиванию. Удаление углерода из хвостов угольной флотации существенно снизит сорбционные свойства пульпы, что будет способствовать повышению извлечения золота при их выщелачивании.

При проведении обратной угольной флотации было отработано три варианта крупности помола до минус 0,071 мм – 60, 75, 90 %. Результаты обратного флотационного обогащения пробы лежалых хвостов представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты обратной угольной флотации пробы лежалых хвостов

Крупность	Продукт	Выход, %	C, %	Ац, г/т	Извлечение, %	
					C	Au
60 % - 0,071 мм	Конц	12,08	84,50	1,15	72,29	3,39
	Хвосты	87,92	4,45	4,50	27,71	96,61
	Итого	100,00	14,12	4,10	100,00	100,00

75 % - 0,071 мм	Конц	31,57	37,90	2,54	84,73	19,56
	Хвосты	68,43	3,15	4,82	15,27	80,44
	Итого	100,00	14,12	4,10	100,00	100,00
90 % - 0,071 мм	Конц	39,54	33,05	3,25	92,55	31,37
	Хвосты	60,46	1,74	4,65	7,45	68,63
	Итого	100,00	14,12	4,10	100,00	100,00

В результате экспериментов по обратному флотационному обогащению было выявлено, что с повышением тонины помола возрастает извлечение в концентрат углерода. Однако при этом существенно ухудшается качество угольного концентрата и наблюдается более интенсивное извлечение золота вместе с углем в концентрат, который будет сложно подвергать выщелачиванию стандартными концентрациями цианида. Так, при крупности помола 60 % минус 0,071 мм угольный концентрат при массовом выходе 12,08 % содержит 84,5 % углерода, что дает извлечение 72,29 %. При этом золото, извлекаемое с угольным концентратом, составляет 3,39 % при его содержании 1,15 г/т. Хвосты при данном помоле очищаются от высокого содержания углерода с 14,12 % до 4,45 %. Также, в хвостах обратной флотации остается 96,61 % золота при содержании 4,5 г/т.

Иная картина наблюдается при увеличении тонины помола до 90 % минус 0,071 мм. Общее извлечение углерода повышается на 20 % до 92,55 % по сравнению с грубым помолом. При этом более чем в три раза возрастает массовый выход концентрата до 39,54 %. Угольный концентрат только на 1/3 состоит из углерода. Наблюдается также значительный перенос золота в угольный концентрат – до 31,37 % при содержании 3,25 г/т.

На графиках рисунка 3 представлена зависимость влияния тонины помола на разделение углерода и золота в продуктах обогащения лежалых хвостов методом обратной флотации.

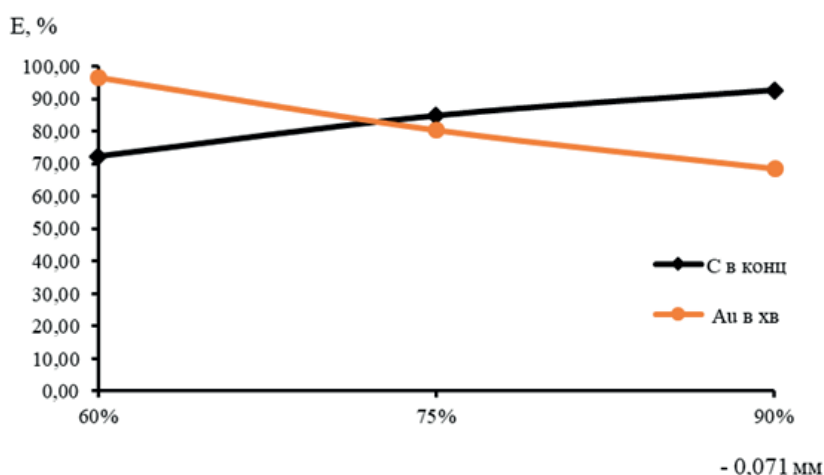


Рисунок 3 – Влияние тонины помола хвостов сорбции на раздельное извлечение углерода и золота при угольной флотации

Как и при помоле 60 % - 0,071 мм, выщелачивание подобного концентрата обычными, не насыщенными цианидными растворами будет затруднительным. Извлечение золота из концентратов с высоким содержанием углерода будет аналогично десорбционным процессам. Поэтому, рассматривать их переработку методом выщелачивания нецелесообразно. Полученные угольные концентраты могут рассматриваться в качестве сырья повторного использования для сорбционных процессов.

Эксперименты по выщелачиванию золота из хвостов обратной угольной флотации включали аналогичные варианты прямого цианирования и предварительного окисления ТХЦК и бактериальным раствором. Испытания проводились на хвостах, полученных при трех вариантах измельчения. При расчете итогового извлечения учитывалось количество золота, потерянного при переносе в угольный концентрат. Выщелачивание велось агитационным методом в течение 24 часов. Результаты всех экспериментальных вариантов выщелачивания хвостов обратной угольной флотации представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты выщелачивания хвостов обратной флотации

Проба	Метод	Au, г/т	Кек Au, г/т	Раствор Au, мг/л	Извлечение, %		Е итоговое, %
					по кеку	по раствору	
Хвосты 60 % - 0,070	Только CN 0,3 %	4,5	1,62	1,0	64,00	63,33	61,19
	окисление ТХЦК, CN 0,3%	4,5	0,84	1,35	81,33	81,00	78,25
	окисление био, CN 0,3%	4,5	0,92	1,3	79,56	79,44	76,75
Хвосты 75 % - 0,070	Только CN 0,3 %	4,82	1,35	1,18	71,99	71,00	57,11
	окисление ТХЦК, CN 0,3%	4,82	0,8	1,47	83,40	85,39	68,69
	окисление био, CN 0,3%	4,82	0,82	1,44	82,99	83,65	67,29
Хвосты 90 % - 0,070	Только CN 0,3 %	4,65	0,63	1,42	86,45	87,03	59,73
	окисление ТХЦК, CN 0,3%	4,65	0,4	1,55	91,40	91,67	62,91
	окисление био, CN 0,3%	4,65	0,62	1,5	86,67	87,10	59,77

Проведённые испытания по выщелачиванию показали высокую эффективность извлечения золота из хвостов обратной флотации при степени измельчения до 90 % класса -0,071 мм. Максимальное извлечение золота — 91,67 % — было достигнуто после предварительного окисления с применением ТХЦК, при этом концентрация золота в растворе составила 1,55 мг/л. Однако из-за потерь золота при получении этих хвостов, общее извлечение из исходного сырья составило лишь 62,91 %. В то же время, при помоле до 60 % класса -0,071 мм и использовании ТХЦК, концентрация золота в растворе достигала 1,35 мг/л при извлечении 81,0 %, а сквозное извлечение — 78,25 %.

Таким образом, наиболее эффективной является схема, включающая обратную флотацию хвостов сорбционного выщелачивания с помоллом до 60 % класса -0,071 мм, последующее удаление углерода и окислительное выщелачивание. Получаемый углеродсодержащий концентрат характеризуется высокой чистотой и может быть регенерирован и повторно использован в сорбционных процессах.

Заключение. Техногенное сырье, представленное лежалыми хвостами сорбции, в свою очередь, требует более сложной комбинации режимов и параметров отдельных процессов. Так, предварительное окисление хвостов сорбции бактериальной культурой *A. Ferrooxidans*, адаптированной к высоким содержаниям мышьяка, позволяет извлекать при дальнейшем цианировании 64,0 % золота. Удаление углерода, как фактора снижающего извлечение золота при цианировании, методом угольной флотации позволяет решить данную проблему. В итоге, общее извлечение золота в раствор достигает 78,25 %, а также 3,4 % металла остаются в угольном концентрате, который может повторно использоваться в сорбционных процессах или попутно подаваться на участок десорбции.

Сложный состав лежалых хвостов сорбции не позволяет производить обогащение данного типа сырья стандартными методами. В то же время использование метода обратной угольной флотации обеспечивает выделение из данной техногенной пробы остаточных форм углерода. Хвосты угольной флотации продемонстрировали достаточно высокие показатели извлечения золота в варианте с измельчением до 90 % - 0,071 мм. Так, максимальное извлечение 91,67 % было достигнуто при использовании предварительного окисления ТХЦК, концентрация золота в растворе при этом достигла 1,55 мг/л. Однако с учетом потери части золота в процессе угольной флотации, общее итоговое извлечение золота в раствор от исходного сырья составило 62,91 %. Несмотря на то, что выщелачивание образцов хвостов с крупностью 60 % - 0,071 мм позволяет получить концентрацию золота 1,35 мг/л в растворе при извлечении 81,0 %, сквозное извлечение металла составляет 78,25 % при использовании ТХЦК. Отделяемый в процессе получения данных хвостов угольный концентрат обладает достаточно высокой чистотой по содержанию углерода и может повторно использоваться после регенерации в сорбционных процессах.

Литература

Kenzhaliyev B., Koizhanova A., Atanova O., Magomedov D., & Nurdin H. (2024) Research and development of gold ore processing technology. *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources*, 329(2). — P. 63–72. <https://doi.org/10.31643/2024/6445.17>

Канаев А.Т., Канаева З.К., Мырзаханова И.А. и др. (2013) Глубокое извлечение золота из хвостов обогащения месторождения Акбакай культурой *Aciditobacillus ferrooxidans* Успехи современного естествознания. 2013. № 6. — С. 115–120.

Toktar G., Magomedov D.R., Koizhanova A.K., Abdylbaev N.N., Bakraeva A.N. (2023) Extraction of gold from low-sulfide gold-bearing ores by beneficiating method using a pressure generator for pulp microaeration *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources*. 2023;325(2):62-71. DOI: 10.31643/2023/6445.19

Toktar G., Koizhanova A.K., Magomedov D.R., Abdylbaev N.N., Bakraeva A.N. (2022) Increased recovery of free fine gold in the leaching process. *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources*. 2022; 322(3): 51-58. DOI: 10.31643/2022/6445.28

Tanrıverdi M., Mordoğan H., İpekoğlu Ü. (2005) Leaching of Ovacık gold ore with cyanide, thiourea and thiosulphate March, 2005, *Minerals Engineering* 18(3): DOI: 10.1016/j.mineng.2004.06.012. — P. 363-365

Иванников С.И., Эпов Д.Г., Крысенко Г.Ф., Медков М.А., Братская С.Ю. и Юдаков А.А. (2013) Комплексный подход к извлечению золота из техногенных объектов золотодобычи Дальнего Востока России ВЕСТНИК ОНЗ РАН, ТОМ 5, NZ1001, doi:10.2205/2013NZ000115, 2013

Sasaki K., Suyama I., Takimoto R., Konadu K.T., Ichinose H., Eksteen J. (2024) Complete gold extraction and recovery from double refractory gold ores by thiourea after bio-oxidation (2024) *Hydrometallurgy*, 227, art. no. 106330, DOI: 10.1016/j.hydromet.2024.106330

Sakai R., Mendoza D.M., Konadu K.T., Cindy, Aoki Y., Hirajima T., Ichinose H., Sasaki K. (2022) Laccase-mediator system for enzymatic degradation of carbonaceous matter in the sequential pretreatment of double refractory gold ore from Syama mine, Mali (2022) *Hydrometallurgy*, 212, art. no. 105894, DOI: 10.1016/j.hydromet.2022.105894

Kenzhaliyev B.K., Surkova, T.Yu., Azlan M.N., Yulusov S.B., Sukurov B.M., Yessimova D.M. Black shale ore of Big Karatau is a raw material source of rare and rare earth elements HYDROMETALLURGY Volume 205 DOI:10.1016/j.hydromet.2021.105733

Zhang M., Cheng G., Lu Y., Cao Y., Lau E.V. (2023) Preparation of long-flame coal flotation collector from waste cooking oil (2023) *Minerals Engineering*, 202, art. no. 108296, DOI:10.1016/j.mineng.2023.108296

Cheng G., Li Y., Cao Y., Zhang Z. (2023) A novel method for the desulfurization of medium-high sulfur coking coal (2023) *Fuel*, 335, art. no. 126988, DOI: 10.1016/j.fuel.2022.126988

Kromah V., Powoe S.B., Khosravi R., Neisiani A.A., Chelgani S.C. (2022) Coarse particle separation by fluidized-bed flotation: A comprehensive review (2022) *Powder Technology*, 409, art. no. 117831, DOI: 10.1016/j.powtec.2022.117831

Loukola-Ruskeeniemi K., Hyvönen E., Airo M.-L., Lerssi J., Arkimaa H. (2023) Country-wide exploration for graphite- and sulphide-rich black shales with airborne geophysics and petrophysical and geochemical studies (2023) *Journal of Geochemical Exploration*, 244, art. no. 107123, DOI:10.1016/j.gexplo.2022.107123

Kim C.S., Han U.C., Sin H., Hwang S.R., Wang J.M. (2024) Thermodynamic Behavior of Pyrite and Arsenopyrite in Preoxidation for Chlorination Leaching of Refractory Gold Concentrate (2024) *Journal of Chemistry*, 2024, art. no. 2671023, DOI: 10.1155/2024/2671023

Ma L., Liu X., Wang L., Qi J. (2023) Mineral Phase Evolution during Oxidation Roasting Pretreatment of Typical Carlin Gold Ore and Effects on Gold Leaching Efficiency (2023) *Minerals*, 13 (4), art. no. 558, DOI: 10.3390/min13040558

Liu Y., Ng W.S., Chen M. (2023) Acid pressure oxidation leaching of arsenopyrite in the presence of pyrite: Oxygen consumption kinetics (2023) *Minerals Engineering*, 195, art. no. 108025, DOI: 10.1016/j.mineng.2023.108025

Li J., Tong L., Zhang H., Chen Q., Yang H., Shen L., Zhai Y., Yao R. (2024) Pool bio-oxidation and fitting analysis of low-grade arsenic-containing refractory gold ore (2024) *Green Chemical Engineering*, DOI: 10.1016/j.gce.2024.01.001

Zhang D.-R., Zhang R.-Y., Zhu X.-T., Kong W.-B., Cao C., Zheng L., Pakostova E. (2024) Novel insights into the kinetics and mechanism of arsenopyrite bio-dissolution enhanced by pyrite (2024) *Journal of Hazardous Materials*, 470, art. no. 134193, DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.134193

Chen H.-R., Zhang D.-R., Li Q., Nie Z.-Y., Pakostova E. (2022) Release and fate of As mobilized via bio-oxidation of arsenopyrite in acid mine drainage: Importance of As/Fe/S speciation and As(III) immobilization (2022) *Water Research*, 223, art. no. 118957, DOI:10.1016/j.watres.2022.118957

Martínez-Mendoza K.L., Barraza-Burgos J.M., Marriaga-Cabrales N., Machuca-Martínez F., Barajas M., Romero M. (2020) Production and characterization of activated carbon from coal for gold adsorption in cyanide solutions [Producción y caracterización de carbón activado a partir de carbón mineral para la adsorción de oro en soluciones cianuradas] (2020) *Ingeniería e Investigación*, 40 (1). — P. 34 - 44, DOI: 10.15446/ing.investig.v40n1.80126

Koizhanova A. K., Toktar G., Craig E. Banks., Magomedov D. R., Kubaizhanov A.A. (2020) Research

of hydrometallurgical method of leaching gold from flotation tails with using bio-oxidation. Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources. — No3 (314), 2020. — P. 28-39. DOI: 10.31643/2020/6445.24

References

Chen H.-R., Zhang D.-R., Li Q., Nie Z.-Y., Pakostova E. (2022) Release and fate of As mobilized via bio-oxidation of arsenopyrite in acid mine drainage: Importance of As/Fe/S speciation and As(III) immobilization Water Research, 223, art. no. 118957, DOI:10.1016/j.watres.2022.118957 (in Eng.).

Cheng G., Li Y., Cao Y., Zhang Z. (2023) A novel method for the desulfurization of medium-high sulfur coking coal Fuel, 335, art. no. 126988, DOI: 10.1016/j.fuel.2022.126988 (in Eng.).

Ivannikov S.I., Epov D.G., Krysenko G.F., Medkov M.A., Brattskaya S.YU., Yudakov A.A. (2013) «Kompleksnyy podkhod k dobyche zolota iz tekhnogennykh ob'yektov zolotodobychi Dal'nego Vostoka Rossii» [Integrated approach to gold extraction from man-made gold mining sites in the Russian Far East]. Vestnik ONZ RAN, Tom 5, NZ1001, doi:10.2205/2013NZ000115 (in Russian)

Kanayev A.T., Kanayeva Z.K., Myrzakhanova I.A. i dr. (2013) Glubokoye izvlecheniye zolota iz khvostov obogashcheniya mestorozhdeniya Akbakay s pomoshch'yu Aciditobacillus ferrooxidans [Deep gold extraction from Akbakay deposit beneficiation tailings using Aciditobacillus ferrooxidans culture]. Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. № 6. — P. 115–120. https://s.natural-sciences.ru/pdf/2013/2013_06.pdf (in Russian)

Kenzhaliyev, B., Koizhanova, A., Atanova, O., Magomedov, D., & Nurdin, H. (2024). Research and development of gold ore processing technology. Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources, 329(2). — P. 63–72. <https://doi.org/10.31643/2024/6445.17> (in Eng.).

Kenzhaliyev B.K., Surkova, T.Yu., Azlan M.N., Yulusov S.B., Sukurov B.M., Yessimova D.M. (2021) Black shale ore of Big Karatau is a raw material source of rare and rare earth elements HYDROMETALLURGY Volume 205 DOI10.1016/j.hydromet.2021.105733 (in Eng.).

Kim C.S., Han U.C., Sin H., Hwang S.R., Wang J.M. (2024) Thermodynamic Behavior of Pyrite and Arsenopyrite in Preoxidation for Chlorination Leaching of Refractory Gold Concentrate Journal of Chemistry, 2024, art. no. 2671023, DOI: 10.1155/2024/2671023 (in Eng.).

Koizhanova A.K., Toktar G., Craig E. Banks., Magomedov D.R., Kubaizhanov A.A. (2020) Research of hydrometallurgical method of leaching gold from flotation tails with using bio-oxidation. Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources. No3 (314), 2020. — P. 28-39. DOI: 10.31643/2020/6445.24 (in Eng.).

Kromah V., Powoe S.B., Khosravi R., Neisiani A.A., Chelgani S.C. (2022) Coarse particle separation by fluidized-bed flotation: A comprehensive review Powder Technology, 409, art. no. 117831, DOI: 10.1016/j.powtec.2022.117831 (in Eng.).

Li J., Tong L., Zhang H., Chen Q., Yang H., Shen L., Zhai Y., Yao R. (2024) Pool bio-oxidation and fitting analysis of low-grade arsenic-containing refractory gold ore Green Chemical Engineering, DOI: 10.1016/j.gce.2024.01.001 (in Eng.).

Liu Y., Ng W.S., Chen M. (2023) Acid pressure oxidation leaching of arsenopyrite in the presence of pyrite: Oxygen consumption kinetics Minerals Engineering, 195, art. no. 108025, DOI: 10.1016/j.mineng.2023.108025 (in Eng.).

Loukola-Ruskeeniemi K., Hyvönen E., Airo M.-L., Lerssi J., Arkimaa H. (2023) Country-wide exploration for graphite- and sulphide-rich black shales with airborne geophysics and petrophysical and geochemical studies Journal of Geochemical Exploration, 244, art. no. 107123, DOI:10.1016/j.gexplo.2022.107123 (in Eng.).

Ma L., Liu X., Wang L., Qi J. (2023) Mineral Phase Evolution during Oxidation Roasting Pretreatment of Typical Carlin Gold Ore and Effects on Gold Leaching Efficiency Minerals, 13 (4), art. no. 558, DOI: 10.3390/min13040558 (in Eng.).

Martínez-Mendoza K.L., Barraza-Burgos J.M., Mariaga-Cabrales N., Machuca-Martínez F., Barajas M., Romero M. (2020) Production and characterization of activated carbon from coal for gold adsorption in cyanide solutions [Producción y caracterización de carbón activado a partir de carbón mineral para la adsorción de oro en soluciones cianuradas] Ingeniería e Investigación, 40 (1). — P. 34 - 44, DOI: 10.15446/ing.investig.v40n1.80126 (in Eng.).

Sakai R., Mendoza D.M., Konadu K.T., Cindy, Aoki Y., Hirajima T., Ichinose H., Sasaki K. (2022)

Laccase-mediator system for enzymatic degradation of carbonaceous matter in the sequential pretreatment of double refractory gold ore from Syama mine, Mali (2022) *Hydrometallurgy*, 212, art. no. 105894, DOI: 10.1016/j.hydromet.2022.105894

Sasaki K., Suyama I., Takimoto R., Konadu K.T., Ichinose H., Eksteen J. (2024) Complete gold extraction and recovery from double refractory gold ores by thiourea after bio-oxidation *Hydrometallurgy*, 227, art. no. 106330, DOI: 10.1016/j.hydromet.2024.106330 (in Eng.).

Tanrıverdi M., Mordoğan H., İpekoğlu Ü. (2005) Leaching of Ovacık gold ore with cyanide, thiourea and thiosulphate, *Minerals Engineering* 18(3), March. — P. 363-365: DOI: 10.1016/j.mineng.2004.06.012 (in Eng.).

Toktar G., Koizhanova A.K., Magomedov D.R., Abdylдаev N.N., Bakraeva A.N. (2022) Increased recovery of free fine gold in the leaching process. *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources*. 2022; 322(3): 51-58. DOI: 10.31643/2022/6445.28 (in Eng.).

Toktar G., Magomedov D.R., Koizhanova A.K., Abdylдаev N.N., Bakraeva A.N. (2023) Extraction of gold from low-sulfide gold-bearing ores by beneficiating method using a pressure generator for pulp microaeration *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources*. 2023;325(2):62-71. DOI: 10.31643/2023/6445.19 (in Eng.).

Zhang D.R., Zhang R.Y., Zhu X.T., Kong W.B., Cao C., Zheng L., Pakostova E. (2024) Novel insights into the kinetics and mechanism of arsenopyrite bio-dissolution enhanced by pyrite *Journal of Hazardous Materials*, 470, art. no. 134193, DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.134193 (in Eng.).

Zhang M., Cheng G., Lu Y., Cao Y., Lau E.V. (2022) Preparation of long-flame coal flotation collector from waste cooking oil (2023) *Minerals Engineering*, art. no. 108296, DOI:10.1016/j.mineng.2023.108296 (in Eng.).

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 29.09.2025.

Формат 60x88¹/₈. 18,0 п.л.

Заказ 3.

«Central Asian Academic Research Center» LLP

Алматы, Қонаев к-сі, 142