

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF CHEMISTRY**

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

**№2
2026**

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



ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

2 (467)

APRIL – JUNE 2026

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY

Editor in chief:

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

Editorial board:

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich (deputy editor-in-chief) doctor of chemical sciences, professor, academician of NAS RK, director of the JSC "Phytochemistry Research and Production Center" (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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, 2026

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрынұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ХФАҚ және ҚР ҰҒА академигі, Мұнай өңдеу және мұнай-химиясы ғылыми-зерттеу институтының бас директоры (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=66021779606>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакция алқасы:

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

АГАБЕКОВ Владимир 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, (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, Қырғызстан ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА Химия және химиялық технология институты (Бішкек, Қырғызстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

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

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)

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/arithv>

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

Главный редактор:

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик МАН и НАН РК, Генеральный директор НИИ нефтепереработки и нефтехимии (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакционная коллегия:

АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор АО «Научно-производственного центра» Фитохимия» (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

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

БУРКИТБАЕВ Мухамбеткали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

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

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

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

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)

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, 2026

CONTENTS

Akimbekova B.B., Karilkhan A., Zhorabek A.A., Bakyt Z.E. Selective flotation of sulfide copper ores.....	11
Assembayeva E.K., Dikhanbay S. Zh., Nurmukhanbetova D. E., Toktamyssova A.B., Tulegenova G. Physical, chemical, and biochemical properties of vegetable juices fermented by the <i>Lactobacillus plantarum</i> strain.....	23
Baidul M., Zhalgasbek N., Shybyray Ye., Muzaffarova N.Sh., Jenis J. Determination of antimicrobial activity and GC-MS analysis of <i>Artemisia scopiforme</i> extract.....	41
Baikenov Ye.A., Safarov R.Z., Shomanova Zh.K. TGA-DSC quantification of calcite with XRF cross-validation in Central Kazakhstan manganese ores.....	55
Baisalova G., Bauyrzhan A., Bakdaulet A., Taltenov A., Akpayeva K. Determination of sodium and potassium ion content in the plant common mallow by a potentiometric method with an ion-selective electrode.....	75
Duzelbayeva S.D., Kassenova B.A., Akhatova Z.S., Konuspayev S.R. The composition of wool fat and its physiological effect on living organisms.....	88
Erkinqyzy A., Zholdas M., Kudaibergenova B.M., Dyusebaeva M.A. Study of the pharmacognostic characteristics of <i>Maclura pomifera</i>	104
Yegissinova A.M., Nurlybayeva A.N., Taubayeva R.S., Seitkan A.S., Matniyazova G.K. Effect of ultrasound-treated cellulose filler on the morphology and intermolecular interactions of TPS matrix.....	118
Jumadilov T.K., Khimersen Kh., Imangazy A., Olzhabekova G. Study of the sorption capacity of an interpolymer system based on industrial ion exchangers KU-2-8 and AV-17-8 towards vanadium and molybdenum ions.....	131
Zamanbekova A.T., Talgatov E.T., Jumekeyeva A.I., Akhmetova S.N., Saryuisin S.N. Sorption properties of titanium dioxide toward polymer modifiers of different nature.....	143
Imangaliyeva B., Arynova K., Trenova A., Kozhabay D., Azamatkyzy A. Production of organic glue based on fish scales, study of properties.....	161
Kabdraisova A.Zh., Berganayeva A.E., Baiburkutova M.A., Sadvakas A.M., Bekesheva K.B. Molecular iodine from antiseptic iodophors: compatibility with pharmaceutical excipients and UV-Vis spectroscopic evaluation.....	176

Kanykeshova A.A., Kunarbekova M., Toktar M., Abdukhalikova Sh., Azat S. Hydrothermal and microwave synthesis of porous carbon materials from coffee grounds using KOH and H ₃ PO ₄ for activation.....	191
Kenzhaliev B., Koizhanova A., Abdyl daev N., Magomedov D., Yerdenova M. Study of the behavior of impurity elements during the chemical leaching of copper ore.....	209
Kipchakbayeva A.K., Tagabay A.K., Targyn A.B. Phytochemical analysis of extractive substances and biologically active compounds of <i>Verbascum thapsus</i> l.	223
Kuandykova A.B., Dzhiembaev B.Zh. Synthesis of dialkyl N-(2-phenylethyl)- and N-[2-(3,4-dimethoxyphenyl) ethyl] amidophosphates under todd-atherton reaction conditions.....	238
Omarova A.A., Nurzhanova S.B., Medetkyzy Z., Saidilda G.T., Abilmagzhanov A.Z. Production of high-octane gasoline by processing N-alkanes over a zeolite-containing catalyst.....	253
Orazbekova R.S., Tungatarova S.A., Baizhumanova T.S., Ilyassova O.S., Kassymkhan K. Steam reforming of bioethanol on a catalyst synthesized by the pechini method.....	272
Seitmagzimova G., Serikbayeva Zh., Serikbaeva B. The effect of phosphorite composition on the decomposition efficiency and filtration properties of phosphogypsum.....	286
Suleimenova M., Jumadilov T., Gražulevičius J. Selective sorption of gold and iron ions from cyanide solutions using Lewatit(h ⁺)–AV-17-8(OH ⁻) and Lewatit(Na ⁺)–AV-17-8(Cl ⁻) interpolymer systems.....	304
Taganov Zh., Kozhanova K., Mombekov S., Ewa P., Jumabayeva S. Stability evaluation of multi-polymer hydrogel bases intended for topical probiotic and postbiotic delivery systems.....	319
Taussarova B.R., Shaikhova Zh.E., Abilkasova S.O. Synthesis of silver nanoparticles to impart antimicrobial properties to biodegradable packaging materials.....	331
Tleuova S.T., Zhussipbek G.S., Raiymbekov Y., Nazarbek U., Pochitalkina I.A. Compositional and microstructural features of lignite deposits.....	347
Toleubekova A., Amantaiuly K., Toktassynov S.K., Toshtay K. Trans and saturated fatty acids in edible oils and fat-based products.....	359

МАЗМҰНЫ

Акимбекова Б.Б., Карилхан А., Жорабек А.А., Бақыт З.Е. Сульфидті мыс кендерін селективті флотациялау.....	11
Асембаева Э.К., Диханбай С.Ж., Нурмуханбетова Д.Е., Токтамысова А.Б., Тулегенова Г.У. <i>Lactobacillus Plantarum</i> штаммымен ашытылған көкөніс шырындарының физика-химиялық және биохимиялық қасиеттері.....	23
Байдул М., Жалғасбек Н., Шыбырай Е., Музаффарова Н.Ш., Жеңіс Ж. <i>Artemisia Scopiforme</i> сығындысының микробқа қарсы белсенділігі мен GC-MS талдауы.....	41
Байкенов Е.А., Сафаров Р.З., Шоманова Ж.К. Орталық Қазақстан марганец кендеріндегі кальцитті ТГА-ДСК әдісімен сандық бағалау және РФА бойынша кросс-валидация.....	55
Байсалова Ғ., Бауыржан А., Бақдәулет А., А. Талтенов, Акпаева Қ. Орман құлқайыры өсімдігіндегі натрий және калий иондарының мөлшерін ионселективті электрод қатысында потенциометриялық әдіспен анықтау.....	75
Дүзелбаева С.Д., Қасенова Б.А., Ахатова З.С., Қонысбаев С.Р. Жүн майының құрамы және оның тірі организмге физиологиялық әсері.....	88
Еркинқызы А., Жолдас М., Қудайбергенова Б.М., Дюсебаева М.А. <i>Maclura Pomifera</i> өсімдігінің фармакогностикалық сипаттамаларын зерттеу.....	104
Егисинаова А.М., Нурлыбаева А.Н., Таубаева Р.С., Сейтқан А.С., Матниязова Г.К. Ультрадыбыстық өңделген целлюлоза толтырғышының ТПК матрицасының морфологиясы мен молекулааралық өзара әрекеттесуіне әсері.....	118
Джумадилов Т.К., Химэрсэн Х., Имангазы А., Олжабекова Г. КУ-2-8 және АВ-17-8 өндірістік иониттері негізіндегі интерполимерлі жүйенің ванадий және молибден иондарын сорбциялау қабілетін зерттеу.....	131
Заманбекова А.Т., Талғатов Э.Т., Джумекеева А.И., Ахметова С.Н., Сарыүйсін С.Н. Табиғаты әртүрлі полимерлік модификаторларға қатысты титан диоксидінің сорбциялық қасиеттері.....	143
Имангалиева Б., Арынова К., Тренова А., Қожабай Д., Азаматқызы А. Балық қабыршағы негізінде органикалық желім алу, қасиеттерін зерттеу.....	161
Кабдраисова А.Ж., Берганаева А.Е., Байбуркутова М.А., Садвақас Ә.М., Бекешева Қ.Б. Антисептикалық йодофорлардан алынған молекулалық йод: фармацевтикалық қосалқы заттармен үйлесімділігін уф-спектроскопия әдісімен зерттеу.....	176

Қаныкешова А.А., Қунарбекова М.С., Тоқтар М., Абдухаликова Ш., Азат С. КОН және H_3PO_4 қолдана отырып, кофе ұнтағынан кеуекті көміртекті материалдарды гидротермальды және микротолқынды синтездеу.....	191
Кенжалиев Б., Қойжанова А., Абдылдаев Н., Магомедов Д., Ерденова М. Мыс шикізатын химиялық шаймалау кезіндегі қоспа элементтерінің әрекетін зерттеу.....	209
Кипчакбаева А.К., Тағабай Ә.Қ., Тарғын А.Б. <i>Verbascum Thapsus</i> L. өсімдігінің экстрактивті заттары мен биологиялық белсенді қосылыстарының фитохимиялық талдауы.....	223
Қуандықова А.Б., Джиембаев Б.Ж. Тодд-атертон реакциясы жағдайында диалкил N-(2-фенилэтил)- және N-[2-(3,4-диметоксифенил)-этил]амидофосфаттардың синтезі.....	238
Омарова А.А., Нуржанова С.Б., Медетқызы З., Сайділді Ғ.Т., Абильмағжанов А.З. Цеолитқұрамды катализаторда қ-алкандарды өндеп жоғары сапалы бензин алу.....	253
Оразбекова Р.С., Тунгатарова С.А., Байжұманова Т.С., Ильясова О.С., Қасымқан Қ. Печини әдісімен синтезделген катализаторда бумен биоэтанолды реформингтеу.....	272
Сейтмағзимова Г.М., Серікбаева Ж.С., Серикбаева Б.С., 2026. Фосфорит құрамының ыдырау тиімділігіне және фосфогипстің сүзу қасиеттеріне әсері.....	286
Сүлейменова М., Джумадилов Т., Гражулявичюс Ю. Цианидті ерітінділерден алтын мен темір иондарын Lewatit(h^+)–AV-17-8(OH^-) және Lewatit(Na^+)–AV-17-8(Cl^-) интерполимерлік жүйелерімен селективті сорбциялау.....	304
Таганов Ж., Кожанова К., Момбеков С., Ева Р., Жұмабаева С. Көпполимерлі гидрогельді негіздердің топикалық пробиотикалық және постбиотикалық жеткізу жүйелері үшін тұрақтылығын бағалау.....	319
Таусарова Б.Р., Шаихова Ж.Е., Әбілқасова С.О. Биоыдырайтын орама материалдарына антимикробтық қасиет беру үшін күміс нанобөлшектерін синтездеу.....	331
Тлеуова С., Жүсіпбек Г., Райымбеков Е., Назарбек У., Почиталкина И. Қоңыр көмір кен орындарының құрамдық және микроқұрылымдық ерекшеліктері.....	347
Төлеубекова А.Ғ., Амантайұлы Қ., Токтасынов С.К., Тоштай Қ. Сұйық майлар мен май негізіндегі өнімдердегі транс және қаныққан май қышқылдары.....	359

СОДЕРЖАНИЕ

Акимбекова Б.Б., Карилхан А., Жорабек А.А., Бакыт З.Е. Селективная флотация сульфидных медных руд.....	11
Асембаева Э.К., Диханбай С.Ж., Нурмуханбетова Д.Е., Токтамысова А.Б., Тулегенова Г.У. Физико-химические и биохимические свойства овощных соков, ферментированных штаммом <i>Lactobacillus plantarum</i>	23
Байдул М., Жалгасбек Н., Шыбырай Е., Музаффарова Н.Ш., Женис Ж. Определение антимикробной активности и ГХ-МС-анализ экстракта <i>Artemisia scopiforme</i>	41
Байкенов Е.А., Сафаров Р.З., Шоманова Ж.К. Количественная оценка калыцита методом ТГА-ДСК с кросс-валидацией по РФА в марганцевых рудах Центрального Казахстана.....	55
Байсалова Г., Бауыржан А., Бакдаулет А., Талтенов А., Акпаева К. Определение содержания ионов натрия и калия в растении лесная мальва потенциометрическим методом с ионселективным электродом.....	75
Дузелбаева С.Д., Касенова Б.А., Ахатова З.С., Конуспаев С.Р. Состав шерстного жира и его физиологическое действие на живой организм.....	88
Еркинқызы А., Жолдас М., Кудайбергенова Б.М., Дюсебаева М.А. Изучение фармакогностических характеристик <i>Maclura pomifera</i>	104
Егиснинова А.М., Нурлыбаева А.Н., Таубаева Р.С., Сейткан А.С., Матниязова Г.К. Влияние обработанного ультразвуком целлюлозного наполнителя на морфологию и межмолекулярные взаимодействия в матрице ТПК.....	118
Джумадилов Т.К., Химэрсэн Х., Имангазы А., Олжабекова Г. Исследование сорбционной способности интерполимерной системы на основе промышленных ионитов КУ-2-8 и АВ-17-8 по отношению к ионам ванадия и молибдена.....	131
Заманбекова А.Т., Талгатов Э.Т., Джумекеева А.И., Ахметова С.Н., Сарыүйсін С.Н. Сорбционные свойства диоксида титана по отношению к полимерным модификаторам различной природы.....	143
Имангалиева Б., Арынова К., Тренова А., Қожабай Д., Азаматқызы А. Получение органического клея на основе рыбной чешуи и изучение его свойств.....	161
Кабдраисова А.Ж., Берганаева А.Е., Байбуркутова М.А., Садвакас А.М., Бекешева К.Б. Молекулярный йод из антисептических иодофоров: исследование совместимости с фармацевтическими вспомогательными веществами методом УФ-спектроскопии.....	176

Каныкешова А.А., Кунарбекова М.С., Тоқтар М., Абдухаликова Ш., Азат С. Гидротермальный и микроволновый синтез пористых углеродных материалов из кофейного жмыха с применением КОН- и H_3PO_4 -активации.....	191
Кенжалиев Б., Койжанова А., Абдылдаев Н., Магомедов Д., Ерденова М. Исследование поведения примесных элементов при химическом выщелачивании медного сырья.....	209
Кипчакбаева А.К., Тагабай А.К., Таргын А.Б. Фитохимический анализ экстрактивных веществ и биологически активных соединений растения <i>Verbascum thapsus</i> L.....	223
Куандыкова А.Б., Джиембаев Б.Ж. Синтез диалкил N-(2-фенилэтил)- и N-[2-(3,4-диметоксифенил) этил] амидофосфатов в условиях реакции Тодда–Аттертона.....	238
Омарова А.А., Нуржанова С.Б., Медеткызы З., Сайділдә Ғ.Т., Абиьмагжанов А.З. Получение высокооктанового бензина путём переработки n-алканов на цеолитсодержащем катализаторе.....	253
Оразбекова Р.С., Тунгатарова С.А., Байжуманова Т.С., Ильясова О.С., Касымқан К. Паровой риформинг биоэтанола на катализаторе, синтезированном методом Печини.....	272
Сейтмагзимова Г.М., Серикбаева Ж.С., Серикбаева Б.С. Влияние состава фосфорита на эффективность разложения и фильтрующие свойства фосфогипса.....	286
Сулейменова М., Джумадилов Т., Гражулявичюс Ю. Селективное извлечение ионов золота и железа из цианидных растворов интерполимерными системами Lewatit(H^+)–AV-17-8(OH^-) и Lewatit(Na^+)–AV-17-8(Cl^-).....	304
Таганов Ж., Кожанова К., Момбеков С., Poleszak E., Жумабаева С. Оценка стабильности многополимерных гидрогелевых основ, предназначенных для топических пробиотических и постбиотических систем доставки.....	319
Таусарова Б.Р., Шаихова Ж.Е., Абилкасова С.О. Синтез наночастиц серебра для придания антимикробных свойств биоразлагаемым упаковочным материалам.....	331
Тлеуова С., Жусипбек Г., Райымбеков Е., Назарбек У., Почиталкина И. Составные и микроструктурные особенности залежей бурого угля.....	347
Толеубекова А.Г., Амантайулы К., Токтасынов С.К., Тоштай К. Транс- и насыщенные жирные кислоты в пищевых маслах и жировых продуктах.....	359

© **Seitmagzimova G., Serikbayeva Zh., Serikbaeva B., 2026.**

M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan.

E-mail: Zhursinay.Serikbaeva@mail.ru

THE EFFECT OF PHOSPHORITE COMPOSITION ON THE DECOMPOSITION EFFICIENCY AND FILTRATION PROPERTIES OF PHOSPHOGYPSUM

Seitmagzimova Galina — Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology of Inorganic and Petrochemical Productions; M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, E-mail: galinaseit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2357-626X>;

Serikbayeva Zhursinay — PhD student of the Department of Technology of Inorganic and Petrochemical Productions, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, E-mail: Zhursinay.Serikbaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-8153-8206>;

Serikbaeva Bagdagul — PhD Doctor, Leading Researcher at the research laboratory "Inorganic Salts and plant protection in the agro-industrial complex", M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: sbagdash@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-4408-7967>.

Abstract. The development of wet-process phosphoric acid production is limited by the quality of phosphate raw materials, since the impurities present can significantly affect the size and form of calcium sulfate crystals and, consequently, the filtration properties of phosphogypsum, which also affects the decomposition efficiency and the residual phosphorus content in phosphogypsum. In this regard, the goal of this study is comparative analysis of the composition of phosphate raw materials and its effect on the efficiency of wet-process phosphoric acid production. This work investigates the influence of phosphorite flour composition from the Kistas deposit of the Karatau basin and technological extraction modes on the efficiency of sulfuric acid decomposition and filtration properties of phosphogypsum. Chemical and mineralogical composition identification and morphology of the samples were studied using X-ray fluorescence (XRF) and X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and FTIR spectroscopy. Sulfuric acid decomposition of raw materials, filtration and washing of phosphogypsum were carried out according to the standard procedure. It was established that quartzite content increase above 15% decreases decomposition degree and leads to formation of insoluble aggregates and deterioration of phosphoric acid suspension filtration properties under hemihydrate conditions due to fine-dispersed

crystals formation. It was found that maximum filtration productivity for wet unwashed sediment of 348.38 kg/(m²·h) was achieved in the dihydrate mode due to the formation of large gypsum crystals. In contrast, in the hemi-hydrate high-temperature mode, this value decreased to 290 kg/(m²·h) due to formation of fine-dispersed anhydrite, which clogs the filter pores. Based on the results of the study, an optimal dihydrate mode of phosphates decomposition at temperatures of 65-80° C was substantiated, which promotes to significant improvement in filtration properties of phosphogypsum, reduction in phosphorus losses with insoluble impurities and increase in productivity of the entire production of wet-process phosphoric acid.

Keywords: phosphorite, decomposition, filtration productivity, wet-process phosphoric acid, phosphogypsum, decomposition coefficient, insoluble residue

For citations: Seitmagzimova G., Serikbayeva Zh., Serikbaeva B. The effect of phosphorite composition on the decomposition efficiency and filtration properties of phosphogypsum. Academic Scientific Journal of Chemistry, 2026. — No.2. – P. 286-304. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1491.378>

© Сейтмагзимова Г.М., Серікбаева Ж.С.*, Серікбаева Б.С., 2026.

М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан.

E-mail: Zhursinay.Serikbaeva@mail.ru

ФОСФОРИТ ҚҰРАМЫНЫҢ ЫДЫРАУ ТИІМДІЛІГІНЕ ЖӘНЕ ФОСФОГИПСТІҢ СҮЗУ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ

Сейтмагзимова Галина — техника ғылымдарының кандидаты, «Бейорганикалық және мұнай-химия өндірістерінің технологиясы» кафедрасының профессоры, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: galinaseit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2357-626X>;

Серікбаева Жүрсінәй — «Бейорганикалық және мұнай-химия өндірістерінің технологиясы» кафедрасының докторанты, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: Zhursinay.Serikbaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-8153-8206>;

Серікбаева Багдагуль — PhD доктор, «Агроөнеркәсіп кешеніндегі бейорганикалық тұздар мен өсімдіктерді қорғау» ғылыми-зерттеу зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: sbagdash@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-4408-7967>.

Аннотация. Экстракциялық фосфор қышқылын өндірудің дамуы фосфат шикізатының сапасымен шектеледі, себебі құрамындағы қоспалар кальций сульфаты кристалдарының мөлшері мен пішініне және соның салдарынан фосфогипстің сүзгілену қасиеттеріне айтарлықтай әсер етуі мүмкін. Бұл өз кезегінде шикізаттың ыдырау тиімділігіне және фосфогипстегі фосфордың қалдық құрамына әсер етеді. Осыған байланысты, зерттеудің мақсаты - фосфат шикізатының құрамын салыстырмалы талдау және оның экстракциялық фосфор қышқылы өндірісінің тиімділігіне әсерін зерттеу болып табылады.

Бұл жұмыста Қаратау бассейніндегі Кистас кен орнының фосфорит ұнының құрамы мен экстракцияның технологиялық режимдерінің күкірт қышқылды ыдырау тиімділігіне және фосфогипстің сүзгілену қасиеттеріне әсері зерттелді. Үлгілердің химиялық және минералогиялық құрамы мен морфологиясы рентген-флуоресцентті және рентген фазалық талдау әдістерімен, электронды микроскопиямен және ИҚ-спектроскопиясымен зерттелді. Шикізаттың күкірт қышқылды ыдырауы және фосфогипсті сүзгілеу және жуу стандартты әдіс бойынша жүргізілді. Шикізаттағы кварцит мөлшерінің 15%-дан артуы ыдырау дәрежесін төмендететіні және ерімейтін агрегаттардың түзілуіне, сондай-ақ жартылай гидраттық режим жағдайында ұсақ дисперсті кристалдардың түзілуі есебінен фосфор қышқылды суспензиясының сүзгілену қабілетінің нашарлауына әкелетіні анықталды. Дигидрат режимінде ірі гипс кристалдарының түзілуіне байланысты ылғалды жуылмаған тұнба бойынша сүзудің максималды өнімділігіне $348,38 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сағ})$ қол жеткізілді, ал жартылайгидратты жоғары температуралық режимде бұл көрсеткіш сүзгі тесіктерін бітеп тастайтын ұсақ дисперсті ангидриттің түзілуіне байланысты $290 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сағ})$ дейін төмендейтіні анықталды. Зерттеу нәтижелері негізінде $65\text{--}80^\circ\text{C}$ температура аралығы фосфаттарды ыдыратудың оңтайлы дигидратты режимі негізделді. Аталған режим фосфогипстің сүзгілену қасиеттерін едәуір жақсартуға, ерімейтін қоспалармен бірге фосфордың жоғалуын азайтуға және экстракциялық фосфор қышқылы өндірісінің жалпы өнімділігін арттыруға ықпал етеді.

Түйін сөздер: фосфорит, ыдырау, сүзу өнімділігі, экстракциялық фосфор қышқылы, фосфогипс, ыдырау коэффициенті, ерімейтін қалдық

© Сейтмагзимова Г.М., Серикбаева Ж.С.*, Серикбаева Б.С., 2026.

Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан.

E-mail: Zhursinay.Serikbaeva@mail.ru

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ФОСФОРИТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛОЖЕНИЯ И ФИЛЬТРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ФОСФОГИПСА

Сейтмагзимова Галина — кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология неорганических и нефтехимических производств», Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: galinaseit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2357-626X>;

Серикбаева Журсинай — PhD-докторант кафедры «Технология неорганических и нефтехимических производств», Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: Zhursinay.Serikbaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-8153-8206>;

Серикбаева Багдауль — PhD, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Неорганические соли и защита растений в агропромышленном комплексе», Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: sbagdash@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-4408-7967>.

Аннотация. Развитие производства экстракционной фосфорной кислоты во многом определяется качеством фосфатного сырья, поскольку содержащиеся в

нем примеси оказывают существенное влияние на размер и форму кристаллов сульфата кальция, а следовательно, и на фильтрующие свойства фосфогипса. Это, в свою очередь, отражается на степени разложения фосфатов и остаточном содержании фосфора в фосфогипсе. В связи с этим целью исследования являлся сравнительный анализ состава фосфатного сырья и его влияния на эффективность производства экстракционной фосфорной кислоты. В работе исследовано влияние состава фосфоритной муки месторождения Кистас Каратауского бассейна и технологических режимов экстракции на эффективность сернокислотного разложения и фильтрующие свойства фосфогипса. Химический и минералогический состав образцов, а также их морфологические особенности изучали методами рентгенофлуоресцентного анализа, рентгенофазового анализа, электронной микроскопии и ИК-спектроскопии. Сернокислотное разложение сырья, фильтрование и промывку фосфогипса проводили по стандартной методике. Установлено, что увеличение содержания кварца в сырье более 15 % приводит к снижению степени разложения и образованию нерастворимых агрегатов, ухудшающих фильтруемость фосфорно-кислотной суспензии в условиях полугидратного режима вследствие формирования мелкодисперсных кристаллов. Показано, что в дигидратном режиме достигается максимальная производительность фильтрования по влажному неотмытому осадку - 348,38 кг/(м²·ч), что обусловлено образованием крупных кристаллов гипса. В полугидратном высокотемпературном режиме данный показатель снижается до 290 кг/(м²·ч) вследствие образования мелкодисперсного ангидрита, закупоривающего поры фильтра. На основании полученных результатов обоснован оптимальный дигидратный режим разложения фосфатного сырья при температуре 65–80 °С, обеспечивающий улучшение фильтрующих свойств фосфогипса, снижение потерь фосфора с нерастворимыми примесями и повышение производительности процесса получения экстракционной фосфорной кислоты

Ключевые слова: фосфорит, разложение, производительность фильтрования, экстракционная фосфорная кислота, фосфогипс, коэффициент разложения, нерастворимый остаток

Введение. Фосфор - невозобновляемый жизненно важный элемент и экономически ценный минеральный ресурс, широко используемый в различных областях, таких как сельское хозяйство, химическая промышленность, фармацевтика и легкая промышленность (Dong et al., 2024). Устойчивое обеспечение мировой экономики фосфорсодержащим сырьём напрямую связано с доступностью природных фосфатов, которые служат основным источником получения фосфорной кислоты и фосфорных удобрений.

Фосфатная порода (ФР) - это природная руда осадочного или магматического происхождения, обладающая высокой концентрацией фосфатных минералов. Это природное минеральное месторождение фосфора и кальция, относящееся к видам семейства апатитов (Mar et al., 2012). Для промышленного производства фосфорсодержащих удобрений применяются фосфатные руды, которые

классифицируют по содержанию в них P_2O_5 на следующие породы: очень богатые ($> 35\% P_2O_5$); богатые ($28-35\% P_2O_5$); рядовые ($18-28\% P_2O_5$); бедные ($10-18\% P_2O_5$); очень бедные ($5-10\% P_2O_5$); фосфатсодержащие ($0,5-5\% P_2O_5$).

Фосфориты Каратау характеризуются осадочным происхождением, значительными запасами и сложным минеральным составом, что обуславливает их промышленную ценность и широкое использование в производстве минеральных удобрений и экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК).

Фосфорная кислота служит основой для производства концентрированных фосфорных удобрений. В настоящее время наиболее экономически выгодным методом ее производства является сернокислотное разложение фосфатного сырья. При применении к фосфориту Каратау этим методом получают фосфорную кислоту с относительно низким содержанием P_2O_5 и высоким уровнем примесей. Количество и состав этих примесей зависят как от качества исходного фосфата, так и от конкретного используемого метода экстракции (Abilkasova et al., 2025). Одной из особенностей процесса получения ЭФК является образование фосфогипса в виде кристаллического осадка, от структуры и дисперсности которого зависит эффективность фильтрации технологической суспензии.

С учетом вышеизложенного целью данного исследования было сравнение состава фосфатного сырья из разных партий и его влияния на эффективность производства ЭФК. Оценка качества фосфатов основывалась на их химическом и минералогическом составе.

Литературный обзор. В последние годы наблюдается устойчивый рост мировой добычи фосфатных руд (Таблица 1) (Geological Survey, 2025), обусловленный увеличением численности населения и расширением сельскохозяйственного производства. Распределение ресурсов фосфоритов в мире крайне неравномерно, мировые запасы фосфатных руд подсчитаны в 36 странах и за 2025 год оцениваются примерно в 74 млрд т, мировые ресурсы превышают 300 млрд т.

Таблица 1 — Мировые запасы фосфатных руд и объёмы производства фосфатных руд в 2024 г., млн т.

Страны	Добыча фосфатных руд в 2024 г., млн т.	Резервы
Алжир	2,000	2,200,000
Австралия	2,500	1,100,000
Бразилия	5,300	1,600,000
Китай	110,000	3,700,000
Египет	5,000	2,800,000
Финляндия	900	1,000,000
Индия	1,600	31,000
Израиль	2,300	60,000
Иордания	12,000	1,000,000
Казахстан	1,700	260,000
Мексика	360	30,000
Марокко	30,000	50,000,000
Перу	5,000	210,000
Россия	14,000	2,400,000

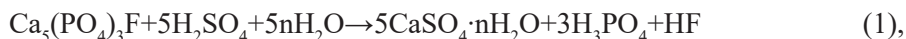
Саудовская Арабия	9,500	1,000,000
Сенегал	2,500	50,000
Южно-Африканская Республика	2,200	1,500,000
Сирия	2,000	250,000
Того	1,500	30,000
Тунис	3,300	2,500,000
Турция	800	71,000
Узбекистан	900	100,000
Соединённые Штаты Америки	20,000	1,000,000
Вьетнам	2,600	30,000
Другие страны	770	800,000
Мировой итог (округлённо)	240,000	74,000,000
Примечание: Составлена авторами на основе источника (U.S. Geological Survey, 2025)		

Крупнейшим продуцентом фосфорных концентратов остается Китай, обеспечивший в 2024 году 40% мирового производства. При этом качество его сырьевой базы сравнительно невысокое: разрабатываются фосфатные руды микрозернистого типа Гуйчжоу-Хубэй-Хунаньского фосфоритоносного бассейна со средним содержанием P_2O_5 около 17%. Абсолютным лидером по запасам высококачественных фосфатов является Марокко. Все разрабатываемые месторождения располагаются в пределах Марокканского фосфоритоносного бассейна, зернистые фосфориты которого характеризуются высоким (до 35%) содержанием P_2O_5 и легкой обогатимостью. Крупные ресурсы фосфатных руд также находятся в Египте, России и Тунисе (Geological Survey, 2025).

В Казахстане основная часть запасов фосфатных руд сосредоточена в Каратауском фосфоритоносном бассейне, который является одним из крупнейших в мире. В юго-западной части Жамбылской области расположен территориально-индустриальный комплекс ТИК "Каратау-Жамбыл" площадью 56,6 тыс. м², характеризующийся полным технологическим циклом от добычи и переработки фосфоритной руды до производства минеральных удобрений и желтого фосфора. В настоящее время здесь производится до 50% желтого фосфора в стране и около 1,3 млн тонн минеральных удобрений (Turgumbaeva et al., 2014). Бассейн Каратау является крупнейшей фосфатно-сырьевой базой среди стран Содружества независимых государств, где зарегистрировано более 45 месторождений фосфоритов. Фоссырье Каратау относится к группе пластовых микрозернистых фосфоритов и представляет собой плотные, крепкие плитчатые породы от темно-серого до черного цвета.

Производство фосфорных удобрений требует промежуточного этапа - производства фосфорной кислоты, которая является одним из важнейших промежуточных продуктов неорганической химической промышленности. Фосфорная кислота производится из фосфатной породы либо термическим, либо кислотным способом. Каждый метод имеет свои преимущества, однако для производства больших объемов фосфорной кислоты удобрительного качества кислотный процесс используется чаще из-за простоты эксплуатации и меньших энергозатрат по сравнению с термическим способом (Khalil et al., 2025). Во всём мире около 90 %

добываемого фосфатного сырья перерабатывается для получения фосфорной кислоты кислотным (экстракционным) способом, основанным на разложении фосфоритов минеральными кислотами, преимущественно серной кислотой. Реакция протекает в соответствии со следующим уравнением реакции:



где n – число молей кристаллизационной воды в полугидрате или дигидрате сульфата кальция.

При взаимодействии серной кислоты с фосфоритом образуется малоподвижная, густая суспензия, разделить которую на жидкую и твердую фазы не удастся, поэтому разложение фосфорита проводится с добавлением раствора разбавления, представляющего собой циркулирующий раствор фосфорной кислоты.

При разложении фосфатного сырья с получением ЭФК в зависимости от температуры процесса и от концентрации раствора разбавления в качестве побочного продукта образуется фосфогипс, основным компонентом которого является дигидрат $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ или полугидрат $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ сульфата кальция. По этим признакам процесс производства ЭФК классифицируется как дигидратный или полугидратный способ получения ЭФК.

В зависимости от химического и минералогического состава сырья получается ЭФК концентраций в интервале 17–28 % P_2O_5 (Ryszko et al., 2023). ЭФК используется главным образом для производства минеральных фосфорных и сложных удобрений и кормовых фосфатов (U.S. Geological Survey, 2025).

В процессе получения ЭФК на каждую тонну произведенной фосфорной кислоты образуется около 5 тонн фосфогипса. В настоящее время мировые объемы образующегося фосфогипса растут на 200 миллионов тонн в год, а общий коэффициент его использования составляет всего 10–15% (Guan et al., 2022; Bouargane et al., 2023). Фосфогипс содержит более 10% нерастворимого остатка в виде кварцита, а также соединений алюминия, железа, фтора, тяжелых металлов и других примесей (Seraya et al., 2023). Наличие примесей может влиять на рост кристаллов фосфогипса, а форма и размер кристаллов сульфата кальция являются ключевыми факторами, непосредственно влияющими на фильтрующие свойства и остаточное содержание фосфора в фосфогипсе. По данным ряда авторов основными факторами, влияющими на структуру, пористость и фильтрующие свойства фосфогипса, являются содержание P_2O_5 , MgO , R_2O_3 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$), SiO_2 , карбонатов и органических веществ в фосфоритной руде (Zhu et al., 2023; Dong et al., 2024).

К настоящему времени многие ученые исследовали влияние примесей в фосфогипсе на зарождение и рост кристаллов сульфата кальция. Результаты показывают, что присутствие ионов Na^+ и K^+ в системе может изменить морфологию кристаллов сульфата кальция с полосчатой на игольчатую и уменьшить соотношение сторон (Zhang et al., 2019). Ионы Mg^{2+} проникают в кристаллическую структуру и снижают скорость роста кристаллов сульфата кальция, что приводит

к увеличению соотношения сторон кристаллов сульфата кальция и росту тонких игольчатых кристаллов (Mao et al., 2014; Yang et al., 2009). Ионы Al^{3+} и Fe^{3+} могут ингибировать рост кристаллов сульфата кальция и изменять их размер, прилипая к краю кристалла в процессе его роста (Ben Ahmed et al., 2014). Фильтрующие поры могут даже забиваться в процессе фильтрования из-за мелкодисперсного фосфогипса, что увеличивает нагрузку на фильтр и приводит к его закупорке. Поэтому крайне важно регулировать форму и размер кристаллов фосфогипса для улучшения фильтрующих свойств фосфогипса и интенсификации процесса разделения фосфорно-кислотной суспензии (Abdelouahhab et al., 2022). С этой целью в данной работе проведен сравнительный анализ состава фосфатного сырья и его влияния на эффективность производства ЭФК.

Материалы и методы исследований. В качестве исходного сырья использовали три пробы фосфоритной муки месторождения Кистас бассейна Каратау, предоставленные компанией ТФ ТОО «Казфосфат» «Минеральные удобрения» (Казахстан): разных партий из цехов ЭФК 1, ЭФК 2 и цеха кормовых обесфторенных фосфатов (КОФ).

Также исследованы два образца фосфогипса, образующегося при разложении фосфорита: фосфогипс с фильтра отделения ЭФК 2 (свежий) и фосфогипс, отобранный из отвала №1 с показателями согласно Сертификату соответствия предприятия (Таблица 2).

Общая стандартная неопределенность (погрешность) измерений и стандартное отклонение анализа состава проб фосфоритов и фосфогипсов и величины производительности фильтрования рассчитаны на основе 3 параллельных измерений образцов с учетом взвешивания образцов, калибровки и измерения. Для измерения состава указанных проб общая стандартная неопределенность составила 0,0067. Относительное стандартное отклонение от усредненного значения с уровнем достоверности $P = 0,95$ составило 0,0061.

Различие в составе двух проб по содержанию дигидрата сульфата кальция и гигроскопической влаги в фосфогипсе связано с самопроизвольной сушкой твердого отхода, находящегося длительное время в открытом отвале (фосфогипс с отвала №1 1-2 летней давности), тогда как влажный фосфогипс, отобранный 14.01.2026 года на ленте вакуум-фильтра, имеет влажность 20,9%.

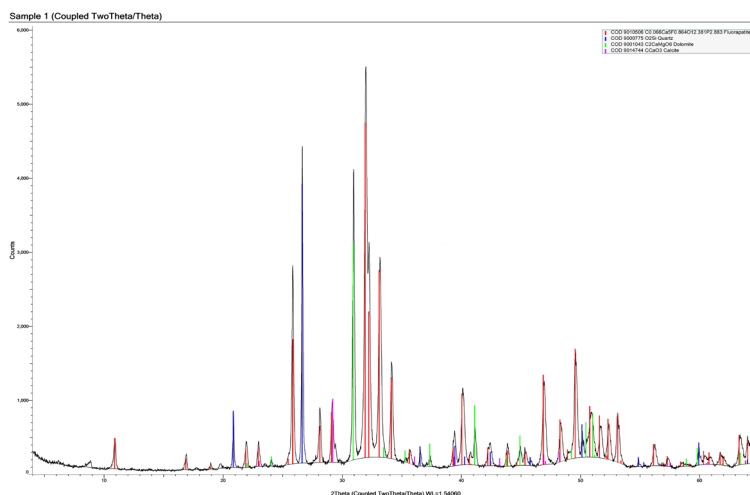
Таблица 2 — Физико-химические показатели образцов фосфогипса Таразского филиала ТОО «Казфосфат» «Минеральные удобрения»

Дата отбора проб	Наименование пробы, место отбора	Массовая доля основного вещества ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), %	Массовая доля гигроскопической влаги, %	Массовая доля водорастворимых фтористых соединений в перерасчете на фтор, %	Удельная активность радионуклидов в фосфогипсе, Бк/кг
14.01.2026 г.	Фосфогипс с фильтра ЭФК - 2	92,9	20,9	0,09	80
14.01.2026 г.	Фосфогипс с отвала №1	82,6	7,7	0,05	2,0

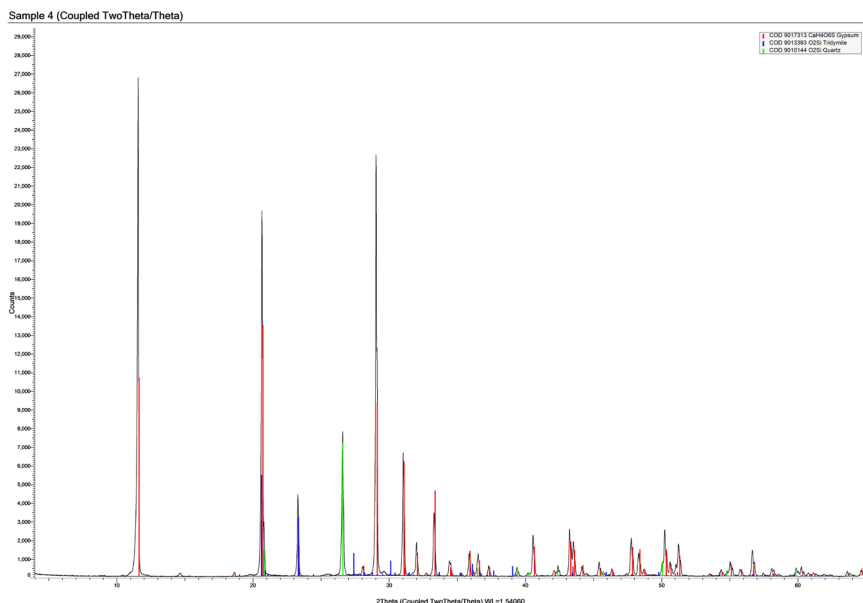
Экспериментальная часть. Экспериментальные исследования проводили в соответствии со стандартной методикой получения экстракционной фосфорной кислоты, основанной на сернокислотном разложении фосфатного сырья, с учетом расходных коэффициентов по сырью, при дигидратном режиме процесса при температуре 70°C (Moldabekov et al., 2006). Для обеспечения подвижности экстракционной пульпы и формирования хорошо фильтрующих кристаллов ФГ соотношение жидкой и твердой фаз поддерживали в интервале Ж:Т=3:1 с использованием раствора разбавления. Экстракцию осуществляли в течение 3 часов для завершения роста кристаллов ФГ. Полученную суспензию разделяли на ЭФК и осадок ФГ на вакуум-фильтровальной установке под вакуумом 0,06 МПа. Твердый побочный продукт отмывали от кислоты горячей водой.

По результатам исследования определяли коэффициент разложения фосфорита ($K_{\text{разл}}$) и коэффициент отмывки фосфогипса ($K_{\text{отм}}$) (Pozin, 1983), производительность фильтрования фосфорно-кислотной суспензии по влажному неотмытому, отмытому и сухому осадку (Moldabekov et al., 2006). Идентификацию химического и минералогического состава образцов осуществляли методами рентгенофазового анализа (XRD) и рентгенофлуоресцентного анализа (XRF) с применением дифрактометра XRF Bruker S8 Tiger, XRF PANalytical Axios max, XRD Bruker D8 Endeavor (Германия) и S8 Tiger и PANalytical Axios (Германия). инфракрасной спектроскопии (ИК) с помощью ИК-Фурье спектрометра Shimadzu IR-Prestige (Япония) и растровой электронной микроскопии (РЭМ) на JEOL JSM-6490LV (Япония).

Результаты. В рамках исследования проведён комплексный анализ трёх проб фосфоритов и двух образцов фосфогипса. Рентгенофазовым анализом установлен минералогический состав проб фосфорита, отобранного с цехов ЭФК 1 и ЭФК 2. На рисунке 1 идентифицировано содержание в их составе фторапатита, кварцита, доломита и кальцита.



а



b

Рисунок 1 — Рентгенограмма проб фосфорита, отобранного с цехов а) ЭФК 1 и б) ЭФК 2

Данные минералы также идентифицированы ИК-спектроскопическим анализом: интенсивные полосы поглощения 880, 1030 и дуплет 560–600 см^{-1} обусловлены колебаниями фосфат-ионов, спектры поглощения 1420–1450 см^{-1} – ионов кальция. Присутствие SiO_2 характеризуется полосами 800–780 см^{-1} (Рисунок 2).

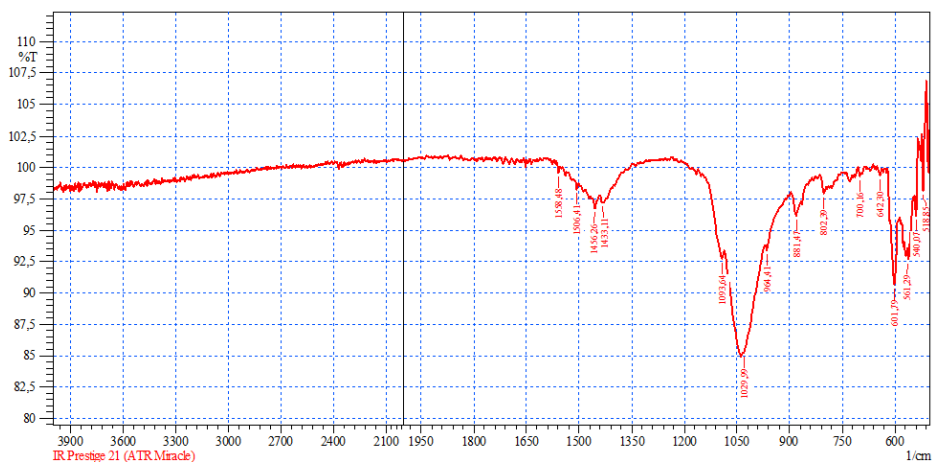


Рисунок 2- ИК-Фурье спектрограмма фосфорита

Полученные результаты коррелируют с данными рентген-флуоресцентного анализа (Таблица 3), демонстрирующими практически идентичный химический

состав проб с ЭФК 1 и ЭФК 2. Однако в образце 3 (фосфорите с КОФ) наблюдается повышенное, 20% содержание SiO_2 , формирующего значительную долю нерастворимого остатка (н.о.), тогда как содержание н.о. в первом и втором образцах находится в пределах 11%. За счет этого содержание 24,4% P_2O_5 в данном образце значительно ниже этого компонента в первых двух пробах (на 3%), также, как и CaO – 40 против 46%. Полученные результаты свидетельствуют, что по содержанию фосфорного ангидрида в образцах 24,40 - 27,52% P_2O_5 данное сырье относится к рядовым фосфатным рудам.

Таблица 3 — Рентген-флуоресцентный анализ состава фосфоритов

Проба фосфорита с цеха	Содержание компонентов, %										Показатели процесса	
	P_{205}	CaO	н.о.	MgO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SO_3	Na_2O	K_2O	ппп	$K_{\text{разл}}$	$K_{\text{отм}}$
ЭФК 1	27,41	45,55	11,63	2,43	1,13	1,60	1,03	0,68	0,61	7,66	94,60	99,42
ЭФК 2	27,52	46,22	11,51	2,25	1,07	1,47	0,92	0,68	0,58	7,58	94,63	99,42
КОФ	24,40	40,29	20,93	2,11	0,94	1,55	0,99	0,75	0,62	7,05	92,75	99,36

Показатель «Потери при прокаливании» (ппп) всех образцов в пределах 7-8% характеризует содержание в сырье легко разлагаемых при прокатке карбонатов кальция и магния, которые при кислотном разложении вызывают повышенное пенообразование с выделением диоксида углерода. Основными показателями процесса сернокислотного разложения фосфоритной муки являются коэффициенты разложения сырья и отмывки фосфогипса. Как следует из Таблицы 3, для всех проб фосфорита достигнута максимальная, более 99%, отмывка фосфогипса от фосфорной кислоты. Установлено, что коэффициент разложения фосфорита с повышенным содержанием н.о. на 2% ниже этого показателя для фосфоритов с цехов ЭФК 1 и 2.

В ходе экспериментальных исследований при разложении фосфорита с цеха КОФ наблюдалось образование нерастворимого остатка в виде плотных отложений («камешков») в реакторе разложения цеха ЭФК-1 (Рисунок 3), что подтверждает влияние минерального состава фосфатного сырья на технологические показатели процесса получения экстракционной фосфорной кислоты.

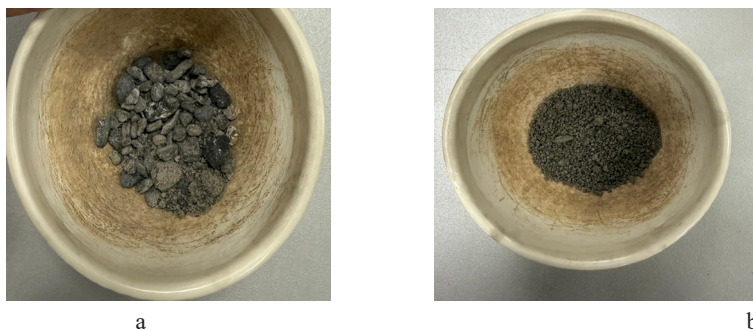
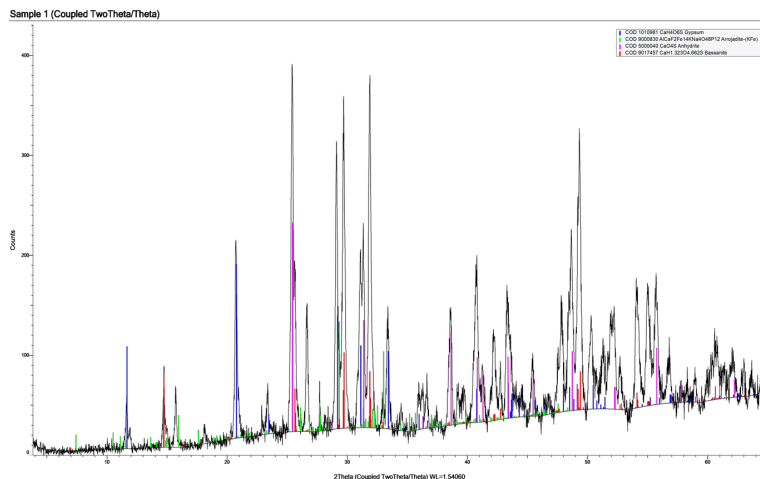
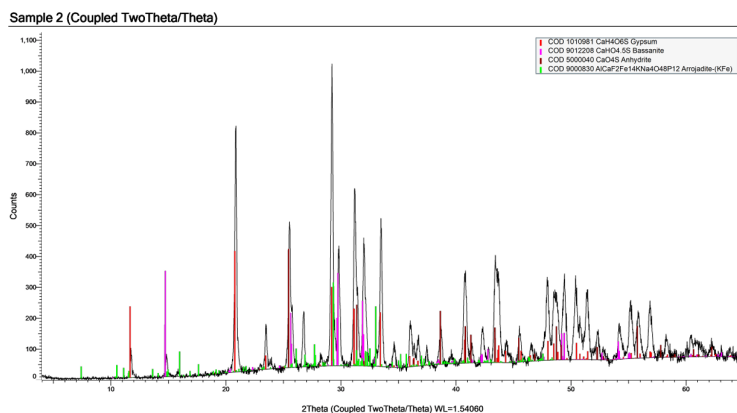


Рисунок 3 — Пробы отложений а и б, образовавшиеся в реакторе разложения

По результатам рентгенофазового анализа образцов отложений а и б в реакторе установлено (Рисунок 4), что оба образца имеют в среднем одинаковый состав и содержат преимущественно гипс и ангидрит, в меньших долях – полугидрат.



а



б

Рисунок 4 – Рентгенограмма проб отложений а и б в реакторе разложения

Присутствие ангидрита связано, очевидно, с высокотемпературным режимом (95-100°C), что приводит к формированию мелких кристаллов осадка ангидрита. Еще один компонент в составе этих «камешков» - минерал арроджадит (KFe), который представляет собой комплексное соединение в форме труднорастворимого фосфата Fe, K, Na, Mg и Al (Рисунок 4, зеленые полосы). Также РФА образца фосфорита с КОФ показал присутствие того же арроджадита, который обнаружен в камешках, но немного другой структуры (KNa), в этом составе меньше фосфора и железа.

Такой состав подтверждает ИК-спектроскопический анализ, идентифицирую-

щий арроджадит (KFe) в составе $\text{KNa}_3(\text{CaNa}_2)\text{Fe}^{2+}_{13}\text{Al}(\text{PO}_4)_{11}(\text{PO}_3\text{OH})(\text{OH})_2$ (Рисунок 5), при этом особое значение отводится фосфатам алюминия. На ИК-спектре это соединение характеризуется интенсивными полосами 877, 1029 и 1083 см^{-1} в области $700\text{--}1000\text{ см}^{-1}$. В ИК-спектре фосфата алюминия наблюдаются чёткие полосы, связанные с колебаниями фосфатной и алюмо-кислород-фосфорной групп (Al-O-P). Образование такого побочного продукта приводит к потерям фосфора и снижению фильтруемости сульфата кальция.

Кроме того, за счет высокого содержания примесей ионов Al^{3+} и Fe^{3+} изменяет морфологию кристаллов сульфата кальция с образованием фторкомплексных ионов, которые сорбируются на краю граней кристаллов и обуславливают формирование полугидратных кристаллов, легко срастающихся в агломераты (Pozin, 1983).

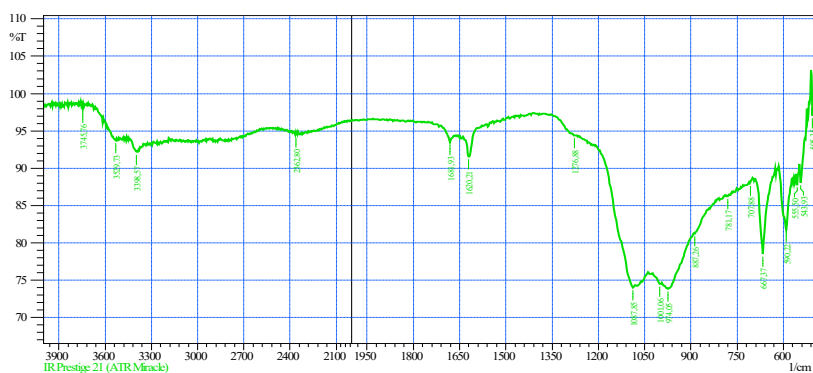
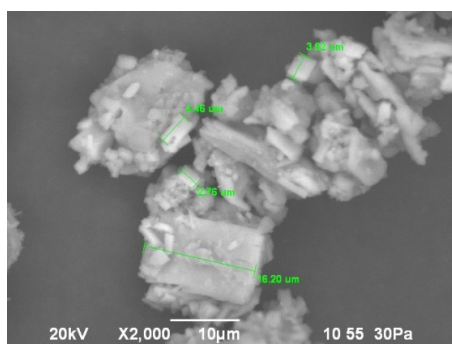
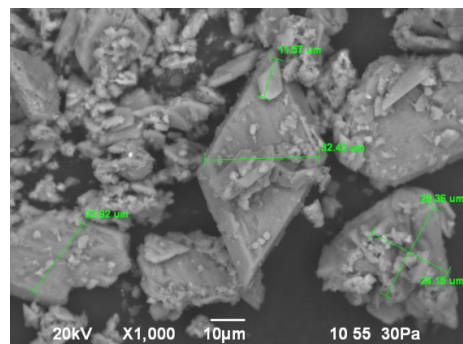


Рисунок 5 — ИК-Фурье спектрограмма образца отложенный в реакторе разложения

Микрофотографии проб отложений, приведенные на Рисунке 6, характеризуют формирование плотных агрегатов (рисунок 6а), спекшихся в монолитную массу, которые невозможно разделить на фильтре, а также в виде отложений мелких комков на поверхности призматических пластинчатых кристаллов гипса (рисунок 6 б).



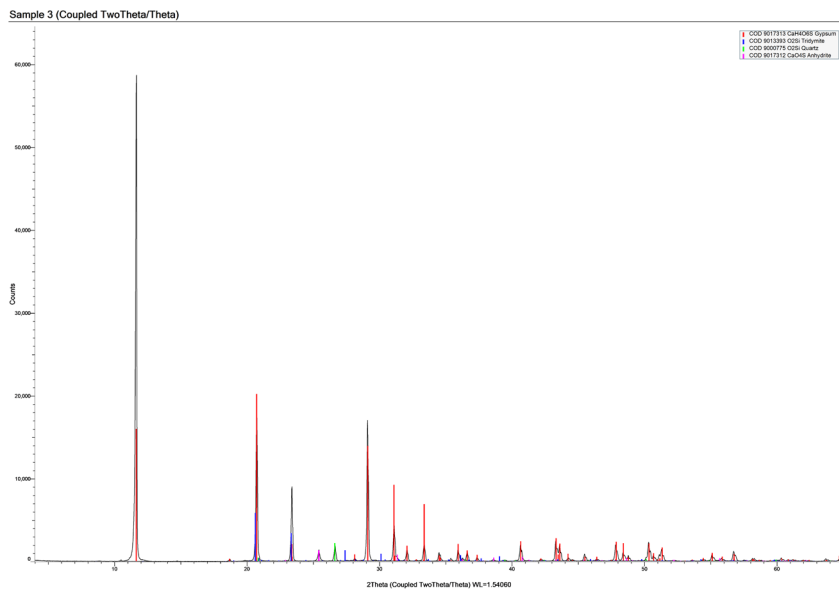
а



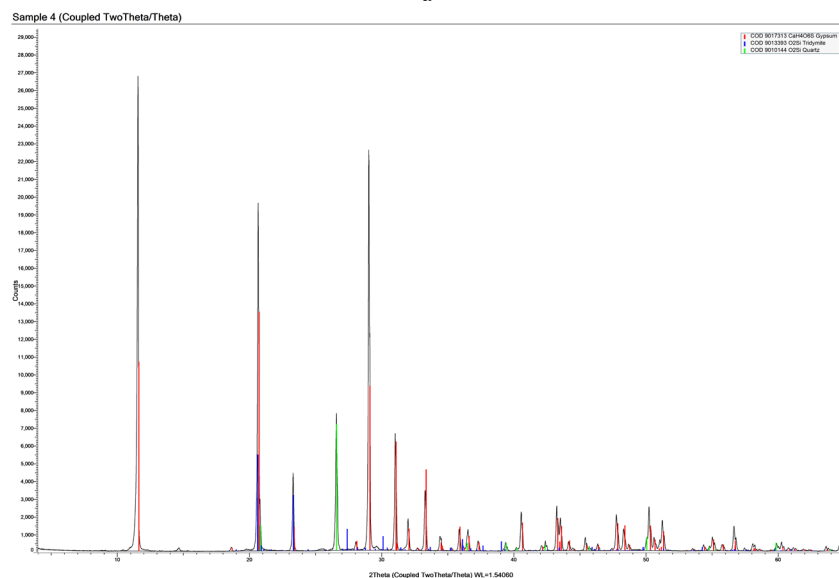
б

Рисунок 6 — Микрофотографии кристаллов фосфогипса с отложениями

Образцы фосфогипса демонстрируют стабильный минеральный состав, в котором преобладают гипс, кварцит и ангидрит. Рентгенофазовым анализом установлено (Рисунок 7, красные полосы), что свежий фосфогипс, отобранный с цеха ЭФК 2, содержит преимущественно гипс, а также кварцит и мелкодисперсный ангидрит (розовые полосы), тогда как в отлежавшемся фосфогипсе, отобранном с отвала №1, отсутствует ангидрит.



a



b

Рисунок 7 – Рентгенограмма проб фосфогипса с цеха ЭФК 2 (а) и с отвала 1 (б)

Полученные данные подтверждаются результатами ИК-Фурье спектроскопии (Рисунок 8). На ИК-спектре наблюдаются характерные полосы поглощения в области $1090\text{--}1100\text{ см}^{-1}$, которые идентифицируют присутствие сульфат-ионов, а в области $3400\text{--}3500\text{ см}^{-1}$ соответствуют кристаллизационной воде, присутствующей в фосфогипсе.

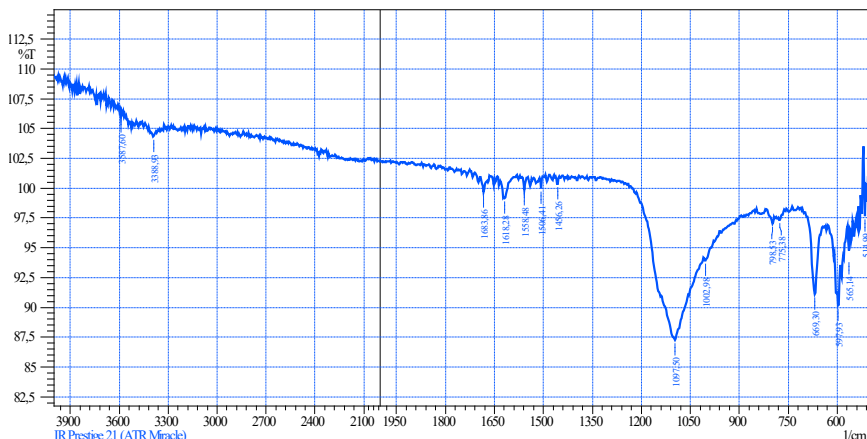


Рисунок 8 – ИК-Фурье спектрограмма образца фосфогипса

Согласно данным, полученным рентген-флуоресцентным анализом, содержание фосфора в анализируемых образцах ФГ находится в интервале $1,0\text{--}1,5\%$ P_2O_5 (Таблица 4). Следует отметить, что содержание всех примесных компонентов в фосфогипсе, отобранном в отвале, таких как MgO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , Na_2O и K_2O , значительно выше данных показателей для ФГ, отобранного с фильтра в цехе ЭФК 2.

Таблица 4 — Рентген-флуоресцентный анализ состава фосфогипса

Проба фосфогипса	Содержание компонентов, %								
	P_2O_5	CaO	н.о. (SiO_2)	MgO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SO_3	Na_2O	K_2O
С цеха ЭФК 2	1,085	30,53	5,97	0,037	0,17	0,32	41,51	0,12	0,18
С отвала 1	1,32	26,55	15,57	0,09	0,37	0,74	33,64	0,90	0,35

Установленный химический состав образцов фосфорита и фосфогипса подтверждается элементным анализом, определенным на растровом электронном микроскопе (Таблица 5).

Таблица 5 — Элементный состав проб фосфорита и фосфогипса

Содержание, %		Химический состав фосфорита и фосфогипса				
Элемент	В пересчете на оксиды	Фосфоритная мука с цеха			Фосфогипс	
		ЭФК 1	ЭФК 2	КОФ	Свежий с ЭФК 2	Отлежавший с отвала 1
Na	Na ₂ O	0,38	0,46	0,35	0	0,16
Mg	MgO	2,1	1,85	1,83	0	0,00
Al	Al ₂ O ₃	1,87	1,72	2,04	0,51	0,76
Si	SiO ₂	9,54	8,91	16,93	5,53	12,73
P	P ₂ O ₅	24,35	23,64	22,01	0,64	1,26
S	SO ₃	1,35	1,3	0,88	41,25	35,6
K	K ₂ O	0,61	0,57	0,63	0,16	0,28
Ca	CaO	39,94	37,17	33,32	30,38	26,45
Fe	Fe ₂ O ₃	1,51	1,17	1,27	0,3	0,54

Результаты проведенного исследования разложения фосфатного сырья разного состава и последующего фильтрования образующейся фосфорнокислотной суспензии показывают, что состав фосфатного сырья и режим экстракции существенно влияют на коэффициент разложения и производительность фильтрования (Таблица 6).

Таблица 6 — Влияние состава фосфоритов на производительность фильтрования фосфогипса и выход фильтрата

№	Фосфорит с цеха	Содержание в фосфорите P ₂ O ₅ общ., %	Содержание в кислоте P ₂ O ₅ общ., %	Производительность фильтрования, кг/(м ² ·ч).		
				по влажному неотмытому осадку	по влажному отмытому осадку	по сухому осадку
1	ЭФК 1, дигидратный режим	27,41	28,96	348,38	239,09	95,33
2	ЭФК 2, полугидратный режим	27,52	27,95	290,22	203,51	80,22
2	КОФ	24,40	17,04	219,36	137,79	56,49

При переработке фосфоритной муки, отобранной в цехе ЭФК в дигидратном режиме, достигнуты максимальные показатели фильтрования: производительность фильтрования по влажному неотмытому осадку составляет 348,38 кг/(м²·ч), тогда как для фосфорита, отобранного в цехе КОФ, с низким содержанием P₂O₅ (24,4%) и повышенным содержанием нерастворимого остатка данный показатель намного ниже и не достигает 220 кг/(м²·ч), что связано с образованием труднорастворимых монолитных комков некристаллической структуры, ухудшающих фильтруемость фосфогипса. Образование такого побочного продукта приводит к потерям фосфора и снижению фильтруемости сульфата кальция. Аналогичная зависимость наблюдается и для производительности фильтрования по влажному отмытому и сухому осадку.

Сравнение технологических режимов показало, что проведение процесса в дигидратном режиме обеспечивает образование крупных кристаллов гипса, которые легче фильтруются и отмываются, тогда как в полугидратном высокотемпературном режиме (95-100°C) данный показатель снижается до 290 кг/(м²·ч) за счет образования мелкодисперсного ангидрита, который забивает поры фильтра. Режим разложения фосфоритной муки и ее состав также влияют на производительность фильтрования и на концентрацию получаемой кислоты. ЭФК, полученная разложением фосфорита с цеха КОФ, имеет концентрацию 17,04%, что в 1,7 раза ниже, чем ЭФК, полученная в чистом дигидратном режиме.

Обсуждение. Полученные результаты показывают, что исследуемые пробы фосфоритов относятся к рядовым фосфатным рудам, которые содержат фторапатит, кварцит, доломит и кальцит. Сопоставление результатов РФА, ИК-спектроскопии и РФЛ-анализа подтверждает достоверность установленного минерального и химического состава проб. Однако повышенное содержание SiO₂ в образце фосфорита с КОФ указывает на значительную долю нерастворимого остатка, и это может негативно влиять на фильтрующие свойства фосфорнокислотной суспензии.

Основными показателями процесса серноокислотного разложения фосфоритной муки являются коэффициент разложения сырья и коэффициент отмывки фосфогипса. Для всех проб фосфорита достигнута максимальная, более 99%, отмывка фосфогипса от фосфорной кислоты. Снижение коэффициента разложения фосфорита с повышенным содержанием н.о. связано с присутствием кремнеземистых примесей. Повышенное содержание кремнезёма и алюмосиликатных минералов может способствовать образованию плотных нерастворимых агрегатов в процессе серноокислотного разложения фосфатного сырья, т.е. приводит к периодическому формированию нерастворимых комков при высокотемпературном процессе в полугидратном режиме серноокислотного разложения фосфатного сырья в цехе ЭФК.

Образование плотных нерастворимых отложений при разложении фосфорита с цеха КОФ подтверждает существенное влияние минерального состава фосфатного сырья на технологические показатели процесса получения экстракционной фосфорной кислоты. Полученные результаты образцов отложений свидетельствуют о формировании сложной минеральной системы, которые содержат преимущественно гипс и ангидрит и труднорастворимые фосфатные соединения минерала арроджадита (KFe).

Присутствие ангидрита связано, очевидно, с высокотемпературным режимом (95-100°C), что приводит к формированию мелких кристаллов осадка ангидрита. Наличие арроджадита (KFe) в составе $\text{KNa}_3(\text{CaNa}_2)\text{Fe}^{2+}_{13}\text{Al}(\text{PO}_4)_{11}(\text{PO}_3\text{OH})(\text{OH})_2$ и алюмо-кислород-фосфорной групп (Al-O-P) приводит к потерям фосфора и снижению фильтруемости сульфата кальция. Кроме того, за счет высокого содержания примесей ионов Al^{3+} и Fe^{3+} изменяется морфология кристаллов сульфата кальция с образованием фторкомплексных ионов, которые сорбируются на краю граней кристаллов и обуславливают формирование полугидратных кристаллов, легко срастающихся в агломераты (Pozin, 1983).

Образцы фосфогипса демонстрируют стабильный минеральный состав, в котором преобладают гипс, кварцит и ангидрит. Результаты указывают на различие в минеральном составе свежего и отлежавшегося фосфогипса, что связано с условиями их хранения. Отсутствие ангидрита в отлежавшемся фосфогипсе вызвано гидратацией фосфогипса при длительном хранении на открытом воздухе. ИК-Фурье спектроскопические данные подтверждают гидратированное состояние фосфогипса. Повышенное содержание примесных оксидов в отвальном фосфогипсе связано с длительным процессом хранения продукта в отвале на открытом воздухе, приводящим к сушке и испарению влаги из ФГ и, следовательно, к увеличению содержания остальных компонентов. Для основного компонента гипса, представляющего дигидрат сульфата кальция, наоборот, содержание CaO и SO_3 в фосфогипсе с отвала значительно ниже этих показателей для влажного продукта, поскольку при длительном вылеживании начинается разложение кристаллогидрата с обезвоживанием соли, и, следовательно, содержание безводной соли снижается.

В производстве ЭФК стадия фильтрования является лимитирующей, от нее зависит общая производительность функционирования системы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что как состав фосфатного сырья, так и режим разложения оказывают заметное влияние на фильтрующие свойства фосфогипса и степень разложения сырья и, как следствие, на эффективность всего технологического процесса.

Заключение. Экспериментальное исследование влияния состава фосфоритов и технологического режима экстракции на эффективность сернокислотного разложения сырья показало, что увеличение содержания в нем кварцита приводит к снижению коэффициента разложения и периодическому формированию нерастворимых спекшихся агрегатов в виде минерала арроджадита (KFe). Установлено, что высокотемпературный полугидратный режим вызывает образование мелких кристаллов ангидрита наряду с крупнодисперсным гипсом, которые забивают поры фильтра и снижают производительность фильтрования фосфорно-кислотной суспензии. На основании результатов исследования предложен оптимальный дигидратный режим получения ЭФК при температурах 65–80°C с содержанием в сырье кварцита не более 15%, способствующий существенному улучшению фильтрующих свойств фосфогипса, снижению потерь фосфора с нерастворимыми примесями и повышению производительности всего производства экстракционной фосфорной кислоты.

References

- Dong W., Sun N., Deng X., Chen Z., Zhang Y., Chi R. and Hua L. (2024). Study on the occurrence state of main components of phosphogypsum dihydrate and its impurity distribution. *RSC Adv.*, 14. <https://doi.org/10.1039/D4RA03273J> (in Eng.)
- Mar S., Okazaki M. (2012). Investigation of Cd contents in several phosphate rocks used for the production of fertilizer. *Microchem. J.*, 104. — P. 17–21. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2012.03.020> (in Eng.)
- Abilkasova S., Akhmetova S., Kalimoldina L., Suleimenova M., Berkinbayeva A., Kabulova G. (2025). Study on the Purification Process of Phosphoric Acid Using Organic Solvents: A Case of Wet-process

Phosphoric Acid Based On Karatau Phosphorites. The Open Chemical Engineering Journal, 19. <https://doi.org/10.2174/0118741231376942250418090353>(in Eng.)

U.S. Geological Survey, (2025), Mineral commodity summaries 2025: U.S. Geological Survey. — 212 p. <https://doi.org/10.3133/mcs2025> (in Eng.)

Turgumbaeva K., Beysekova T.I., Lapshina I.Z. Razrabotka tehnologii kompleksnoj pererabotki tverdiy othodov proizvodstva mineralnykh udobreniy v celevie produkti [Development of a technology for the integrated processing of solid waste from the production of mineral fertilizers into target products] Research report (final). Almaty: KazNTU, 2014. (in Russian)

Khalil F., Pagnanelli F., & Moscardini E. (2025) Phosphogypsum as the Secondary Source of Rare Earth Elements. Sustainability, 17(19). — 8828 p. <https://doi.org/10.3390/su17198828> (in Eng.)

Ryszko U., Rusek P., & Kołodzyńska D. (2023) Quality of Phosphate Rocks from Various Deposits Used in Wet Phosphoric Acid and P-Fertilizer Production. *Materials*, 16(2). — 793 p. <https://doi.org/10.3390/ma16020793> (in Eng.)

Guan Q., Sui Y., Yu W., Bu Y., Zeng C., Liu C., Zhang Z., Gao Z., & Chi R. (2022) Deep removal of phosphorus and synchronous preparation of high-strength gypsum from phosphogypsum by crystal modification in NaCl-HCl solutions. Separation and Purification Technology. DOI:10.1016/j.seppur.2022.121592(in Eng.)

Bouargane B., Laaboubi K., Biyoune M.G.et al. (2023) Effective and innovative procedures to use phosphogypsum waste in different application domains: review of the environmental, economic challenges and life cycle assessment. J Mater Cycles Waste Manag 25. — P. 1288–1308. <https://doi.org/10.1007/s10163-023-01617-8> (in Eng.)

Seraya N., Litvinov V., Daumova G., Zhusipov N., Idrisheva Z., & Aubakirova R. (2023) Production Waste Management: Qualitative and Quantitative Characteristics and the Calculation of the Hazard Class of Phosphogypsum. Processes, 11(10). — 3033 p. <https://doi.org/10.3390/pr11103033>(in Eng.)

Zhu G., Yang Y., He L., Li H., Meng Z., Zheng G., Li F., Su X., Xi B., & Li Z. (2023) Novel Synergistic Process of Impurities Extraction and Phosphogypsum Crystallization Control in Wet-Process Phosphoric Acid. ACS omega, 8(31), 28122–28132. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c01168> (in Eng.)

Dong W., Chi R., Guo W., Deng X., Chen Z., & Chen H. (2024) Study on Mechanisms for Improving Quality and Whiteness of Phosphogypsum Based on Process Mineralogy Analysis. *Minerals*, 14(5). — 471 p. <https://doi.org/10.3390/min14050471>(in Eng.)

Zhang L., Wang B., Ying D., Liu Y., Hua Q., Liu L., & Tang J. (2019) Effect of the Impurity Ions on the Crystallization of Urea Phosphate. International Journal of Chemical Reactor Engineering, 17(10). <https://doi.org/10.1515/ijcre-2018-0275> (in Eng.)

Mao X., Song X., Lu G., Sun Y., Xu Y., & Yu J. (2014) Effects of Metal Ions on Crystal Morphology and Size of Calcium Sulfate Whiskers in Aqueous HCl Solutions. Industrial & Engineering Chemistry Research, 53(45), 17625–17635. <https://doi.org/10.1021/ie5030134> (in Eng.)

Yang L., Wu Z., Guan B., Fu H., & Ye Q. (2009) Growth rate of α -calcium sulfate hemihydrate in K–Ca–Mg–Cl–H₂O systems at elevated temperature. Journal of Crystal Growth, 311(20). — P. 4518–4524. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2009.08.013> (in Eng.)

Ben Ahmed S., Tlili M.M., Amami M., & Ben Amor M. (2014) Gypsum Precipitation Kinetics and Solubility in the NaCl–MgCl₂–CaSO₄–H₂O System. Industrial & Engineering Chemistry Research, 53(23). — P. 9554–9560. <https://doi.org/10.1021/ie5004224> (in Eng.)

Abdelouahhab, M., Manar, S., & Benhida, R. (2022). Optimization and evaluation of the effect of impurities on phosphoric acid process performance using design of experiments. Results in Engineering, 15, 100501. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100501> (in Eng.)

Moldabekov Sh.M., Sarsenbieva R.K., Karataeva G.E., & Anarbaev A.A. (2006). Metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu laboratornykh rabot po discipline «Himicheskaya tehnologiya neorganicheskikh veshchestv» [Guidelines for laboratory work in the discipline "Chemical technology of inorganic substances"] Shymkent: YuKGU im. M. Auezova. — 105 p. (in Russian)

Pozin T.M. (1983) Tehnologiya mineralnykh udobrenij [Technology of mineral fertilizers] Leningrad: Chemistry. — 336 p. (in Russian)

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

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

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the 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 National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the 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 National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

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

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

www.nauka-nanrk.kz

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

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

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

Signed for print: June 30, 2026

Format: 70×90 1/16. 24.0 printed sheets. Order No. 2