

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

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№3
2026**

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

2026 • 3



ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

Editor-in-Chief:

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

Editorial Board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES.

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

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

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

Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

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

Главный редактор:

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик МАН и НАН РК, Генеральный директор НИИ нефтепереработки и нефтехимии (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960%3Cp%3Ehttps://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

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

РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

АБИЕВ Руфат, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

ОЛИВЬЕРО Росси Чезаре, доктор философии (PhD, химия), профессор Университета Калабрии (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

САНГ-СУ Квак, доктор философии (PhD, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Джэон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендинович, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (PhD, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, PhD, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

БУРКИТБАЕВ Мухамбеткали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

QUEVEDO Hernando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

ТАКИБАЕВ Нурғали Жабағәевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

АБИШЕВ Медеу Ержанович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

АБИЛМАТЖАНОВ Арлан Зайнуталлаевич, кандидат химических наук, первый заместитель генерального директора АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

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

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

Свидетельство № KZ93VPY00121157 о повторной регистрации периодического печатного издания информационного агентства, информационного агентства и сетевого издания, выданное Республиканским государственным учреждением «Комитет информации» Министерства культуры и информации Республики Казахстан 05.06.2025

Тематическая направленность: физика, химия.

Периодичность: 4 раза в год.

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

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

CONTENTS

PHYSICS

Aliuly A., Kaltayev A.

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

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

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

Nurbayev B., Dmitriyeva E., Kemelbekova A.

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

Seitov A., Amanzholov T.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CHEMISTRY

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

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

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

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

Bishimbaev V.K., Kapsalyamov B.A.

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

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

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

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

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

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

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

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

Әлиұлы А., Калтаев А.

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

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

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

Нұрбаев Б., Дмитриева Е., Кемелбекова А.

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

Сейтов А.Н., Аманжолов Т.Е.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ХИМИЯ

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

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

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

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

Бишимбаев В.К., Капсаямов Б.А.

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Әлиұлы А., Калтаев А.

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

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

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

Сейтов А.Н., Аманжолов Т.Е.

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

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

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

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

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

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

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

ХИМИЯ

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

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

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

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

Бишимбаев В.К., Капсалямов Б.А.

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

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

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

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

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

ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES
ISSN 2224-5227
Volume 3.
Number 359 (2026), 498-516

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.489>

UDC: 678.746:546.22:620.22

IRSTI: 31.25.19

©**Toktabayeva A.K.¹, Makhayeva D.N.^{1*}, Rakhmetullayeva R.K.¹, Rvaidarova G.O.², Issenova G.D.², 2026.**

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

²Kazakh Plant Protection and Quarantine Research Institute named after Zh.Zhiyembayev, Almaty, Kazakhstan.

*E-mail: Makhayeva.Danelya@kaznu.kz

SYNTHESIS, STRUCTURE, AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF SULFUR-CONTAINING COMPOSITES BASED ON ANILINE, p-PHENYLENEDIAMINE, PHENOL, AND FORMALDEHYDE

Toktabayeva Assel — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: aseltoktabayeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1313-8696>;

Makhayeva Danelya — PhD, Senior Researcher, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: makhayeva.danelya@kaznu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1250-9587>;

Rakhmetullayeva Raikhan — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: raikhan.rakhmetullayeva@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-1002-2046>;

Rvaidarova Gulnissam — Candidate of Biological Sciences, Kazakh Plant Protection and Quarantine Research Institute named after Zhazken Zhiyembayev, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: gulnissam@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4260-4411>;

Issenova Gulmira — Candidate of Biological Sciences, Kazakh Plant Protection and Quarantine Research Institute named after Zhazken Zhiyembayev, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: isenova-gulmira@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3608-3146>.

Abstract. The synthesis and investigation of sulfur-containing polymeric and composite materials have become one of the most important research areas in polymer chemistry and materials science. The accumulation of large amounts of elemental sulfur as a by-product of the oil and gas industry necessitates the development of efficient utilisation methods. Therefore, the synthesis of new sulfur-based functional materials and the study of their properties are of considerable scientific and practical interest.

This work aimed to synthesize sulfur-containing composites based on aniline, p-phenylenediamine, phenol, and formaldehyde and to investigate their structure and physicochemical properties. Novel composite materials were obtained through

the interaction of sulfur with aniline and p-phenylenediamine, as well as with phenol and formaldehyde in an alkaline medium. In the aniline-p-phenylenediamine-sulfur system, the product yield was 73.8%, and the sulfur content was 11.12%. In the phenol-formaldehyde-p-phenylenediamine-sulfur composition, the sulfur content was found to be 7.14%. To evaluate the effect of sulfur concentration on material properties, a series of phenol-formaldehyde-sulfur composites containing 3, 5, and 7 mol of sulfur were synthesized, with sulfur contents of 9.47%, 10.58%, and 12.23%, respectively.

The structure of the obtained products was characterized using FTIR, UV-Vis, and NMR spectroscopy (^1H and ^{13}C NMR). The sulfur content was determined by a gravimetric method, while morphological features were examined by optical microscopy. Spectroscopic analysis confirmed the formation of C-S bonds, the preservation of aromatic structural fragments, and the incorporation of sulfur into the polymer matrix. Increasing sulfur content resulted in a colour change from light violet to dark violet and was accompanied by an increase in structural porosity.

Keywords: sulfur-containing composites, sulfur, aniline, p-phenylenediamine, phenol, formaldehyde, polymeric materials, FTIR spectroscopy, NMR spectroscopy, morphology

For citations: Toktabayeva A.K., Makhayeva D.N., Rakhmetullayeva R.K., Rvaidarova G.O., Issenova G.D. *Synthesis, Structure, and Physicochemical Properties of Sulfur-Containing Composites Based on Aniline, p-Phenylenediamine, Phenol, and Formaldehyde. Academic Journal of Physical and Chemical Sciences. 2026. No.3. Pp. 498-516. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.489>*

©Тоқтабаева Ә.Қ.¹, Махаева Д.Н.^{1*}, Рахметуллаева Р.Қ.¹, Рвайдарова Г.О.², Исенова Г.Д.², 2026.

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

²Ж.Жиембаев атындағы Қазақ өсімдік қорғау және карантин ғылыми-зерттеу институты, Алматы, Қазақстан.

*E-mail: Makhayeva.Danelya@kaznu.kz

АНИЛИН, п-ФЕНИЛЕНДИАМИН, ФЕНОЛ ЖӘНЕ ФОРМАЛЬДЕГИД НЕГІЗІНДЕГІ КҮКІРТҚҰРАМДЫ КОМПОЗИТТЕРДІҢ СИНТЕЗІ, ҚҰРЫЛЫМЫ ЖӘНЕ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

Тоқтабаева Әсел — химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: aseltoktabayeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1313-8696>;

Махаева Данэля — PhD, аға оқытушы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: makhayeva.danelya@kaznu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1250-9587>;

Рахметуллаева Райхан — химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: raikhan.rakhmetullayeva@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-1002-2046>;

Рвайдарова Гульнисам — биология ғылымдарының кандидаты, Ж.Жиембаев атындағы Қазақ өсімдік қорғау және карантин ғылыми-зерттеу институты, Алматы, Қазақстан,
E-mail: gulnislam@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4260-4411>;

Исенова Гульмира — биология ғылымдарының кандидаты, Ж.Жиембаев атындағы Қазақ өсімдік қорғау және карантин ғылыми-зерттеу институты, Алматы, Қазақстан,
E-mail: isenova-gulmira@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3608-3146>.

Аннотация. Қазіргі уақытта құрамында күкірт бар полимерлік және композициялық материалдарды алу мен зерттеу полимерлер химиясы мен материалтанудың өзекті бағыттарының бірі болып табылады. Мұнай және газ өнеркәсібінде элементтік күкірттің көп мөлшерде жиналуы оны тиімді кәдеге жарату жолдарын іздеуді талап етеді. Осыған байланысты күкірт негізіндегі жаңа функционалдық материалдарды синтездеу және олардың қасиеттерін зерттеу ғылыми және практикалық қызығушылық тудырады.

Жұмыстың мақсаты анилин, п-фенилендиамин, фенол және формальдегид негізіндегі күкіртқұрамды композиттерді синтездеу және олардың құрылымы мен физика-химиялық қасиеттерін зерттеу болып табылады. Зерттеу барысында күкірттің анилинмен және п-фенилендиаминмен, сондай-ақ фенол және формальдегидпен сілтілік ортада әрекеттесуі нәтижесінде жаңа композиттік материалдар алынды. Анилин-п-фенилендиамин-күкірт жүйесінде алынған өнімнің шығымы 73,8 %, ал құрамындағы күкірт мөлшері 11,12 % құрады. Фенол-формальдегид-п-фенилендиамин-күкірт негізіндегі композицияда күкірттің массалық үлесі 7,14 % болды. Күкірт мөлшерінің материал қасиеттеріне әсерін анықтау мақсатында фенол–формальдегид–күкірт жүйесінде күкірттің мөлшері 3, 5 және 7 мольге дейін өзгертіліп, сәйкесінше күкірттің массалық үлесі 9,47; 10,58 және 12,23 % болатын композиттер синтезделді.

Алынған өнімдердің құрылымы мен химиялық құрамын анықтау мақсатында инфрақызыл (ИҚ), ультракүлгін (УК) және ядролық магниттік резонанс (^1H және ^{13}C ЯМР) спектроскопия әдістері қолданылды. ИҚ-спектроскопиялық зерттеулер барысында бастапқы компоненттерге тән функционалдық топтардың тербеліс жолақтарымен қатар, синтез нәтижесінде түзілген жаңа байланыстарға сәйкес келетін сигналдар анықталды. Атап айтқанда, C–S байланыстарының түзілуі күкірттің полимерлік құрылымға химиялық жолмен енгізілгенін көрсетті. УК-спектрлерде ароматты құрылымдарға тән жұтылу жолақтарының сақталуы композиттер құрамындағы ароматты фрагменттердің өзгеріссіз қалғанын дәлелдеді. ^1H және ^{13}C ЯМР спектроскопия нәтижелері синтезделген материалдардың химиялық құрылымын қосымша растауға мүмкіндік берді.

Түйін сөздер: күкіртқұрамды композиттер, күкірт, анилин, п-фенилендиамин, фенол, формальдегид, полимерлік материалдар, ИҚ-спектроскопия, ЯМР-спектроскопия, морфология

©Токтабаева А.К.¹, Махаева Д.Н.^{1*}, Рахметуллаева Р.К.¹, Рвайдарова Г.О.²,
Исенова Г.Д.², 2026.

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

²Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений
имени Ж.Жиембаева, Алматы, Казахстан.

*E-mail: Makhayeva.Danelya@kaznu.kz

СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ АНИЛИНА, п-ФЕНИЛЕНДИАМИНА, ФЕНОЛА И ФОРМАЛЬДЕГИДА

Токтабаева Асель — кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: aseltoktabayeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1313-8696>;

Махаева Данэля — PhD, старший преподаватель, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: makhayeva.danelya@kaznu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1250-9587>;

Рахметуллаева Райхан — кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: raikhan.rakmetullayeva@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-1002-2046>;

Рвайдарова Гульнисам — кандидат биологических наук, Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений имени Ж.Жиембаева, Алматы, Казахстан,

E-mail: gulnizam@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4260-4411>;

Исенова Гульмира — кандидат биологических наук, Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений имени Ж.Жиембаева, Алматы, Казахстан,

E-mail: isenova-gulmira@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3608-3146>.

Аннотация. В настоящее время получение и исследование серосодержащих полимерных и композиционных материалов является одним из актуальных направлений химии полимеров и материаловедения. Накопление значительных объемов элементарной серы в нефтегазовой промышленности требует поиска эффективных путей ее утилизации. В связи с этим синтез новых функциональных материалов на основе серы и изучение их свойств представляют научный и практический интерес.

Целью работы являлся синтез серосодержащих композитов на основе анилина, п-фенилендиамин, фенола и формальдегида, а также исследование их структуры и физико-химических свойств. В ходе исследования новые композиционные материалы были получены в результате взаимодействия серы с анилином и п-фенилендиамином, а также с фенолом и формальдегидом в щелочной среде. Для системы анилин–п-фенилендиамин–сера выход продукта составил 73,8 %, а содержание серы достигало 11,12 %. В композиции на основе фенола, формальдегида, п-фенилендиамин и серы массовая доля серы составила 7,14 %. Для оценки влияния содержания серы на свойства материалов в системе фенол–формальдегид–сера были синтезированы композиты с содержанием серы 3, 5 и 7 моль, для которых массовая доля серы составила соответственно 9,47; 10,58 и 12,23 %.

Структура полученных продуктов изучена методами инфракрасной (ИК), ультрафиолетовой (УФ) и ядерно-магнитно-резонансной (^1H и ^{13}C ЯМР) спектроскопии. Содержание серы определяли гравиметрическим методом, а морфологические особенности исследовали с использованием оптической микроскопии. Результаты исследований подтвердили образование связей C–S, сохранение ароматических структур и включение серы в полимерную матрицу. Установлено, что увеличение содержания серы приводит к изменению окраски материалов от светло-фиолетовой до темно-фиолетовой и сопровождается ростом пористости структуры.

Ключевые слова: серосодержащие композиты, сера, анилин, п-фенилендиамин, фенол, формальдегид, полимерные материалы, ИК-спектроскопия, ЯМР-спектроскопия, морфология

Кіріспе. Қазіргі уақытта құрамында күкірт бар полимерлік және композициялық материалдарды алу мен зерттеу полимерлер химиясы мен материалтанудың қарқынды дамып келе жатқан бағыттарының бірі болып табылады (Chung et al., 2013; Tarasova et al., 2021; Saini & Sandhu, 2023). Мұнай және газ өнеркәсібінің қарқынды дамуына байланысты әлемде элементтік күкірттің айтарлықтай қоры жинақталуда. Күкірт негізінен мұнайды және табиғи газды гидротазалау процестерінің жанама өнімі болып табылады (Chung et al., 2013; Song et al., 2025). Күкірт қалдықтарының көп мөлшерде жиналуы қоршаған ортаға кері әсерін тигізіп қана қоймай, оларды тиімді кәдеге жарату мәселесін де туындатады. Осыған байланысты күкіртті жоғары қосылған құны бар функционалдық материалдарға айналдыру қазіргі химия ғылымы мен технологиясының маңызды міндеттерінің бірі болып табылады (Parker et al., 2017; Tarasova et al., 2021; Xun et al., 2025).

Соңғы жылдары элементтік күкірт негізінде әртүрлі полимерлер мен композиттік материалдарды синтездеуге бағытталған зерттеулер қарқынды жүргізілуде. Күкірттің органикалық мономерлермен әрекеттесуі нәтижесінде алынатын материалдар жоғары химиялық тұрақтылыққа, коррозияға төзімділікке және ерекше функционалдық қасиеттерге ие болады (Tarasova et al., 2021; Saini & Sandhu, 2023; Song et al., 2025). Әсіресе кері вулканизация әдісі арқылы алынған күкіртқұрамды полимерлер ауыр металл иондарын сорбциялау, энергия сақтау жүйелері мен құрылыс материалдарын өндіру салаларында кеңінен қолданылуда (Parker et al., 2017; Crockett et al., 2022; Vlahović et al., 2025).

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінде жүргізілген зерттеулерде күкірттің ароматты аминдермен әрекеттесуі нәтижесінде күкіртқұрамды бояғыштар мен пигменттерді алу мүмкіндігі көрсетілген. Атап айтқанда, А.А. Мамутова мен Е.В. Балашов күкіртті бояғыштарды синтездеу және модификациялау заңдылықтарын зерттеген (Mamutova & Balashov, 2009). Кейінгі жұмыстарда күкірттің анилинмен әрекеттесуі негізінде жаңа күкіртті пигменттер алынып, олардың қасиеттері сипатталған (Nurkina et al., 2017).

Осыған байланысты анилин, п-фенилендиамин, фенол және формальдегид

негізіндегі күкіртқұрамды композиттерді синтездеу, олардың құрылымын және физика-химиялық қасиеттерін зерттеу ғылыми және практикалық тұрғыдан өзекті болып табылады. Осы жұмыстың мақсаты күкірттің аталған ароматты қосылыстармен әрекеттесуі нәтижесінде түзілетін композиттердің синтезін жүзеге асыру, олардың құрылымын ИҚ-, УК- және ЯМР-спектроскопия әдістерімен зерттеу және күкірт мөлшерінің материал қасиеттеріне әсерін анықтау болып табылады.

Материалдар мен зерттеу әдістері. *Материалдар:* молекулалық массасы 108,4 г/моль болатын п-фенилендиамин, анилин, фенол («Invictus»), «Ratmir» фирмасы өндірген 37%-дық формалин ерітіндісі, техникалық күкірт және натрий гидроксиді («Anvil») алдын ала тазартусыз пайдаланылды.

Күкірт, п-фенилендиамин және анилин негізіндегі композиттерді синтездеу. Араластырғышпен, кері тоңазытқышпен және термометрмен жабдықталған үш мойынды колбаға 10 г (0,0925 моль) п-фенилендиамин, 3,2 г (0,1 моль) күкірт, 4,54 мл (0,05 моль) анилин, 2 г (0,05 моль) натрий гидроксиді және 10,3 мл (0,57 моль) дистилденген су енгізілді. Синтез 115-117 °С температурада 11 сағат бойы жүргізілді. Алынған қоспа вакуумда сүзілді және 30-40 °С температурада кептірілді.

Күкірт, фенол, п-фенилендиамин және формальдегид негізіндегі композиттерді алу. Араластырғышпен, кері тоңазытқышпен және термометрмен жабдықталған үш мойынды колбаға 0,10 г (0,000925 моль) п-фенилендиамин, 9,6 г (0,3 моль) күкірт, 3,23 мл (0,12 моль) формальдегид, 9,4 г (0,1 моль) фенол және 4 г (0,1 моль) натрий гидроксиді енгізіліп, қоспа 90-95 °С температурада 2 сағат бойы үздіксіз араластырылды. Синтез аяқталғаннан кейін реакциялық қоспа бейтарап ортаға дейін дистилденген сумен жуылды. Композиция құрылымын анықтау мақсатында оның әртүрлі еріткіштердегі ерігіштігі зерттелді.

Күкірт, фенол және формальдегид негізіндегі композиттерді синтездеу. Араластырғышпен, кері тоңазытқышпен және термометрмен жабдықталған үш мойынды колбаға 9,6; 16,0 және 22,4 г (тиісінше 0,3; 0,5 және 0,7 моль) күкірт, 3,23 мл (0,12 моль) формальдегид, 9,4 г (0,1 моль) фенол және 4 г (0,1 моль) натрий гидроксиді енгізілді. Қоспа 90-95 °С температурада 2 сағат бойы үздіксіз араластырылды. Реакция аяқталған соң өнім дистилденген сумен бейтарап ортаға дейін жуылды. Алынған композициялардың құрылымын зерттеу үшін олардың әртүрлі еріткіштердегі ерігіштігі анықталды.

Физика-химиялық талдау әдістері. Алынған үлгілердің құрылымын анықтау үшін Фурье түрлендірулі JNN-ECA 400 («Jeol», Жапония) ЯМР-спектрометрі (100-400 МГц) және Carry 660 FTIR («Agilent», АҚШ) ИҚ-спектрофотометрі қолданылды. ИҚ-спектрлерді түсіру үшін үлгілер KBr-пен араластырылып, PIKE таблеткалау престің көмегімен таблеткалар дайындалды.

Синтезделген үлгілердің абсорбциялық спектрлері қалыңдығы 1 мм кварц кюветада SPECORD® 200 PLUS (Германия) спектрофотометрінде тіркелді.

Композициялық материалдардың морфологиясын зерттеу үшін Leica DM 6000 M оптикалық микроскопы пайдаланылды.

Алынған композициялардағы күкірт мөлшерін сандық анықтау. Зерттелетін заттың (өнімнің) белгілі мөлшері құрғақ немесе ерітінді күйінде дөңгелек түпті колбаға орналастырылды. Оған 4%-дық NaOH ерітіндісінің 3 тамшысы және 10 мл 30%-дық сутек асқын тотығы қосылып, колба 1 сағатқа жабық күйде қалдырылды. Кейін ерітінді қайнауға дейін қыздырылып, 20 минут бойы қайнатылды. Бұдан соң қосымша 10 мл 30%-дық сутек асқын тотығы енгізіліп, тағы 30 минут қайнатылды. Кейін 30-40 мл су қосылып, ерітінді көлемі екі есе азайғанша қайнату жалғастырылды.

Алынған ерітінді сүзгіден өткізіліп, фильтратқа 0,1 М BaCl₂ ерітіндісі қосылды. Нәтижесінде ақ түсті тұнба түзілді. Тұнба сүзгіден өткізіліп, құрғақ күйге дейін кептіріліп, өлшенді.

Зат құрамындағы күкірт мөлшері (1) формула бойынша есептелді.

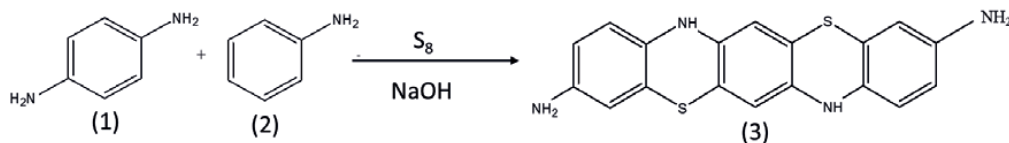
$$W_S = \frac{(m_{\text{BaSO}_4} * 32.06 * 100)}{233.4 * m_{\text{зертт.зат}}} \quad (1)$$

мұндағы $m_{\text{зертт.зат}}$ - зерттелетін үлгінің массасы (0,1 г); әдістің салыстырмалы қателігі 0,22-3,3 % аралығында болады.

Нәтижелер мен талқылаулар. Күкірт негізіндегі композиттік материалдар п-фенилендиамин-анилин-күкірт, фенол-формальдегид-п-фенилендиамин-күкірт және фенол-формальдегид-күкірт жүйелерінде синтезделді. Алынған өнімдердің шығымы, күкірт мөлшері және құрылымдық ерекшеліктері спектроскопиялық әдістер арқылы зерттелді.

П-фенилендиамин (1), анилин (2) және күкірттің (3) сілтілік ортада 1,8:1:2 мольдік қатынаста әрекеттесуі нәтижесінде 1 суреттегі сызбаға сәйкес қоңыр түсті ұнтақ тәрізді композитті қосылыс алынды. Өнімнің шығымы 73,8 %, ал құрамындағы күкірт мөлшері 11,12 % болды.

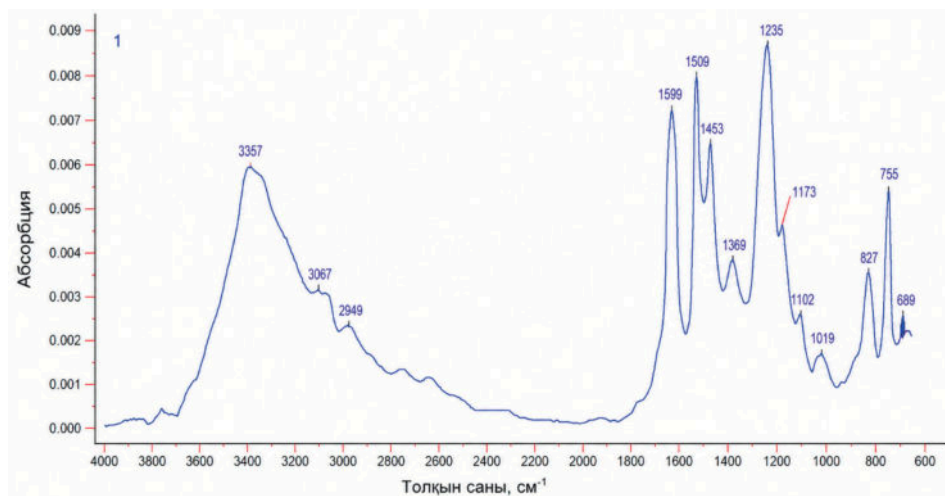
Сызба 1



Сурет 1. п-фенилендиаминнің (1), анилиннің (2) және күкірттің (3) сілтілік ортадағы әрекеттесу сызбасы.

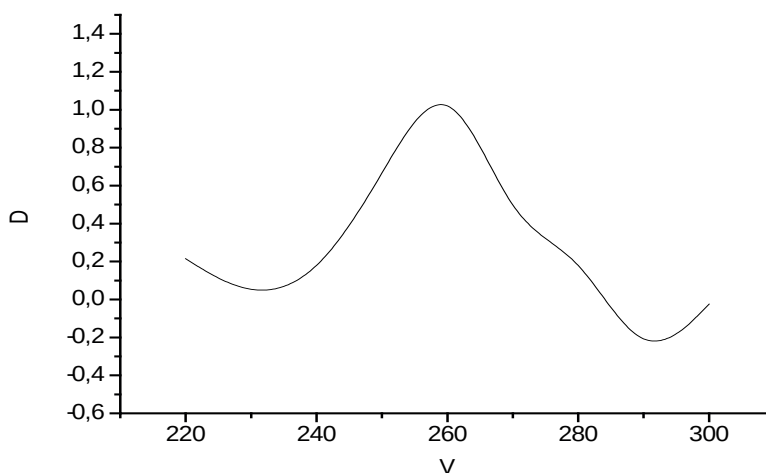
Алынған қосылыстың құрылымы ИҚ-, УК- және ЯМР-спектроскопия әдістерімен зерттелді. ИҚ-спектрде (сурет 2) 753, 827, 1173, 1235, 1369, 1453, 1509, 1599 және 3357 см⁻¹ аймақтарында сипаттамалық жұтылу жолақтары байқалды. Бұл жолақтар C-S, C_{ar}-N және C=C байланыстарының, сондай-ақ -CH₂,

-NH- және -NH₂ функционалдық топтарының болуын көрсетеді. Атап айтқанда, 753 см⁻¹ аймағындағы жұтылу жолағы күкірттің органикалық фрагменттермен байланысуын дәлелдейтін C-S байланыстарына сәйкес келеді, ал 1599 және 3357 см⁻¹ аймақтарындағы жолақтар амин топтарының сақталғанын көрсетеді.



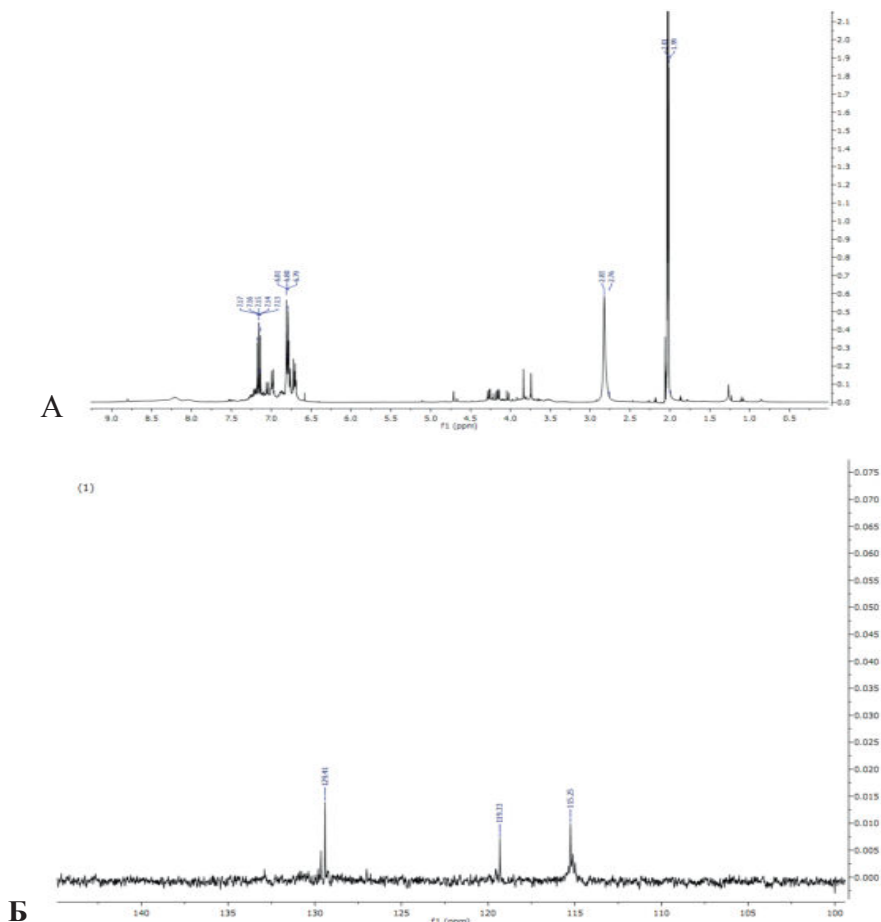
Сурет 2. Анилин, п-фенилендиамин және күкірт негізіндегі композитті материалдың ИҚ-спектрі.

УК-спектрде (сурет 3) 265 нм аймағында жұтылу максимумы тіркелді, бұл ароматты сақинамен байланысқан және бос электрон жұбы бар топтарға тән $n \rightarrow \pi^*$ электрондық ауысулармен түсіндіріледі.



Сурет 3. Анилин, п-фенилендиамин және күкірт негізіндегі композитті материалдың ацетон еріткішіндегі УК-спектрі.

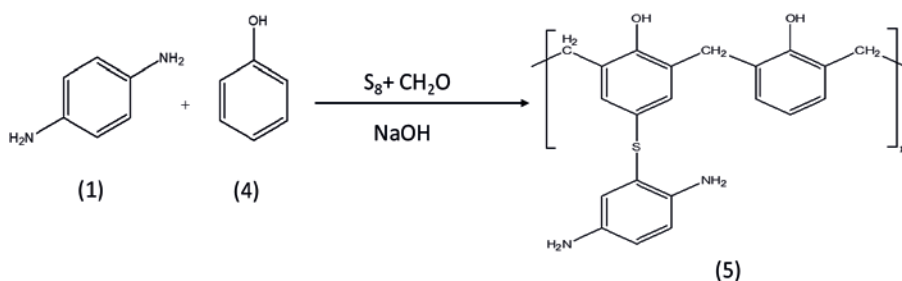
4 суретте көрсетілген ^1H ЯМР спектрінде δ 6,79–7,17 м.ү. аралығында байқалған мультиплетті сигналдар ароматты сақинадағы протондарға тән болды. ^{13}C ЯМР спектрінде δ 115,35; 119,33 және 129,41 м.ү. аймақтарында сигналдардың болуы қосылыс құрамында ароматты көміртек атомдарының бар екенін растады.



Сурет 4. Анилин, п-фенилендиамин және күкірт негізіндегі композитті материалдың (А) ^1H ЯМР- және (Б) ^{13}C ЯМР-спектрлері.

Келесі кезеңде п-фенилендиаминнің (1), фенолдың (4), формальдегид пен күкірттің сілтілік ортада 1,0:3,2:1,1:1,3 мольдік қатынаста әрекеттесуі нәтижесінде 5 суреттегі сызбаға сәйкес (5) қосылыс синтезделді.

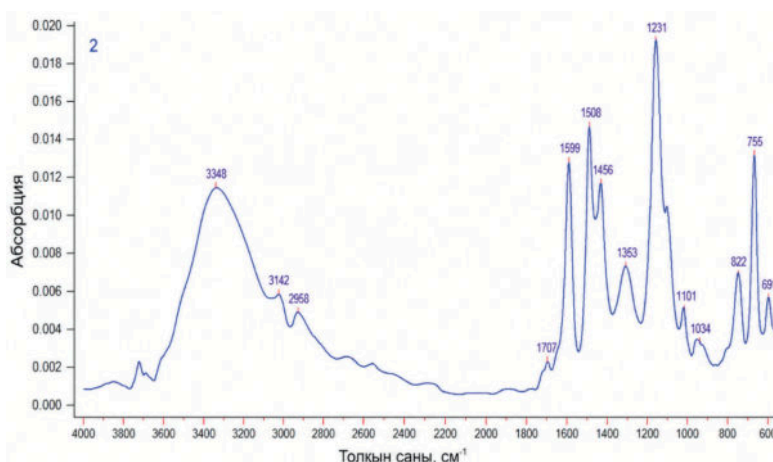
Сызба 2



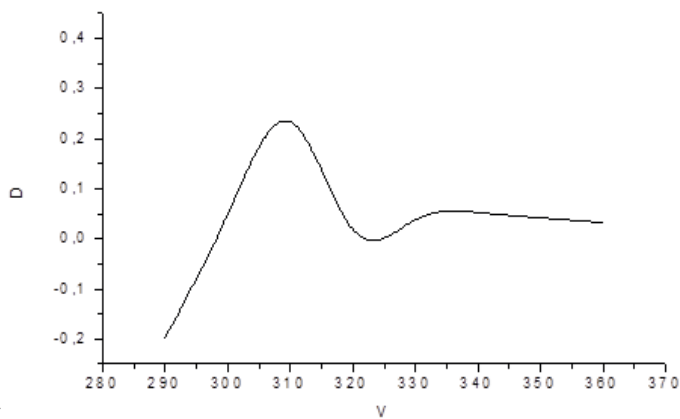
Сурет 5. П-фенилендиаминнің (1), фенолдың (4), формальдегидтің және күкірттің сілтілік ортадағы әрекеттесу сызбасы.

Синтез натрий гидроксиді қатысында $90-95^{\circ}C$ температурада 2 сағат бойы жүргізілді. Нәтижесінде қою қоңыр түсті шайыр тәрізді өнім алынды. Қосылыстағы күкірттің массалық үлесі 7,14 % болды.

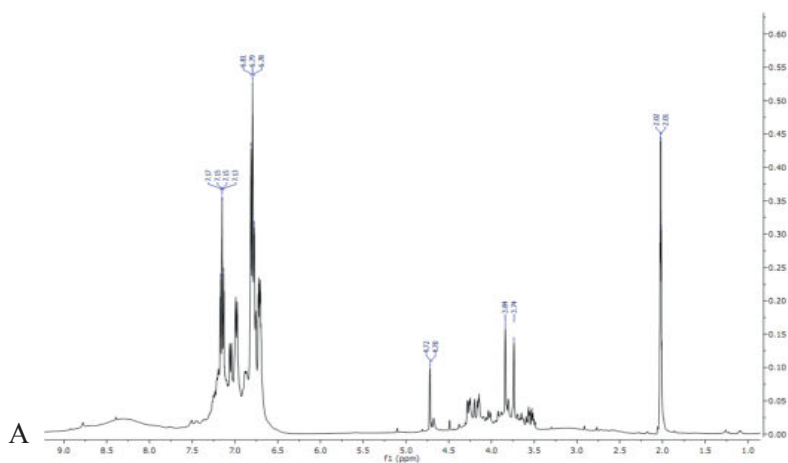
Алынған қосылыстың құрылымы ИҚ-, УК- және ЯМР-спектроскопия әдістерімен зерттелді. ИҚ-спектрде 691, 755, 822, 1231, 1363, 1508, 1599 және 3348 см^{-1} аймақтарында жұтылу жолақтары байқалды. Бұл жолақтар $C-S$, $C_{ar}-O$, $C_{ar}-N$ және $C=C$ байланыстарының, сондай-ақ $-CH_2$, $-OH$ және $-NH_2$ функционалдық топтарының болуын көрсетеді. УК-спектрде (сурет 7) 315 нм аймағында жұтылу максимумы тіркелді, бұл ароматты құрылымдағы электрондық ауысулардың күшеюімен байланысты. 8 суретте көрсетілген 1H ЯМР спектрінде δ 6,78–7,17 м.ү. аралығында ароматты сақина протондарына тән мультиплетті сигналдар байқалды. ^{13}C ЯМР спектрінде δ 115,28; 119,35 және 129,43 м.ү. аймақтарындағы сигналдар ароматты көміртек атомдарының болуын растады.



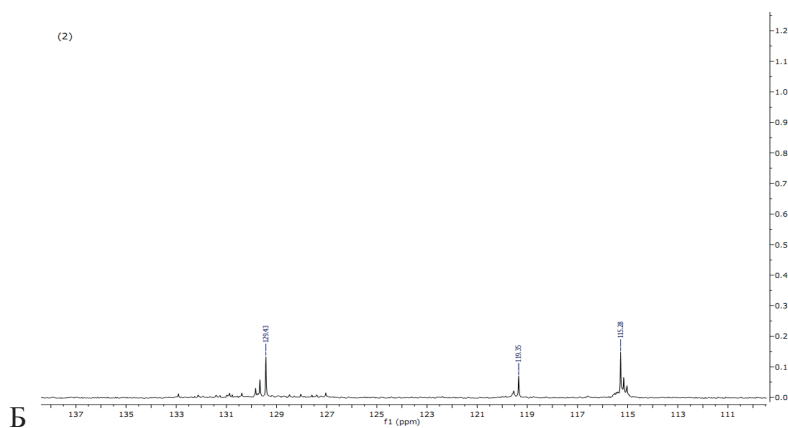
Сурет 6. Фенол, формальдегид, п-фенилендиамин және күкірт негізіндегі композитті материалдың ИҚ-спектрі.



Сурет 7. Фенол, формальдегид, п-фенилендиамин және күкірт негізіндегі композитті материалдың УК-спектрі.



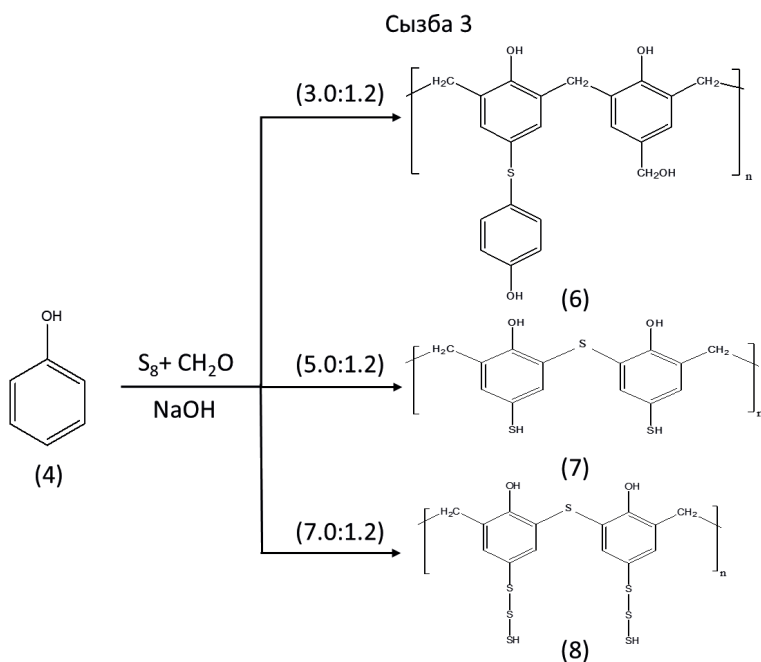
(2)



Сурет 8. Фенол, формальдегид, п-фенилендиамин және күкірт негізіндегі композитті материалдың (А) ^1H ЯМР- және (Б) ^{13}C ЯМР-спектрлері.

Күкірт құрылыс материалдары, күкіртбетон және күкіртті асфальт өндірісінде кеңінен қолданылатын маңызды компонент болғандықтан, оның мөлшерін арттырудың композициялық материалдардың қасиеттеріне әсері қосымша зерттелді. Осы мақсатта фенол-формальдегид-күкірт жүйесінде күкірт мөлшері 3, 5 және 7 мольге дейін ұлғайтылып, сәйкесінше (6), (7) және (8) қосылыстары синтезделді (сызба 3, сурет 9). Реакциялар натрий гидроксиді қатысында 95-100 °С температурада 2 сағат бойы жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері бастапқы реакциялық қоспадағы күкірт мөлшерінің артуымен композициялардағы күкірттің массалық үлесі де жоғарылайтынын көрсетті. Атап айтқанда, күкірттің мөлшері 3 моль болған жағдайда оның композициядағы мөлшері 9,47 %, 5 моль болғанда 10,58 %, ал 7 моль болғанда 12,23 % құрады. Сонымен қатар күкірт концентрациясының артуына байланысты алынған материалдардың түсі ашық күлгіннен қою күлгін түске дейін өзгеріп, олардың морфологиялық құрылымында айқын айырмашылықтар байқалды. Бұл өзгерістер күкірттің полимерлік матрицаға ену дәрежесінің артуымен және композиция құрылымының күрделенуімен байланысты болуы мүмкін.



Сурет 9. Фенолдың, формальдегидтің және күкірттің әртүрлі мольдік қатынастардағы әрекеттесу сызбасы.

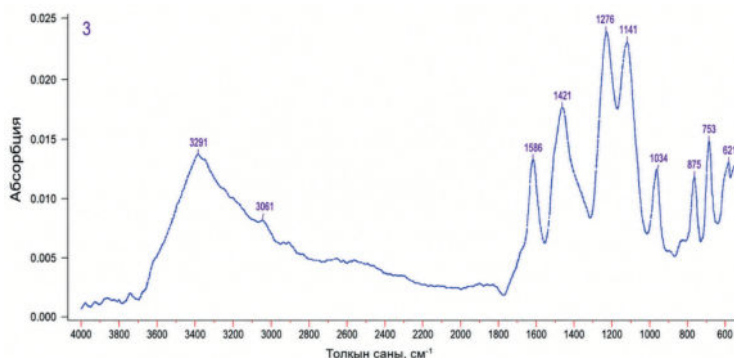
Фенол, формальдегид және күкірттің 1,0:1,2:3,0 мольдік қатынаста әрекеттесуі нәтижесінде (6) қосылысы алынды. Қосылыстағы күкірттің массалық үлесі 9,47 % құрады.

Қосылыстың ИҚ-спектрінде (сурет 10) 681, 753 және 825 cm^{-1} аймақтарында

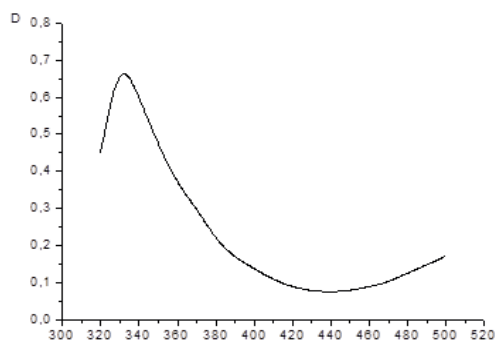
сипаттамалық жұтылу жолақтары тіркелді, олар күкірттің органикалық матрица құрамына енуін және C-S байланыстарының түзілуін дәлелдейді. 1004 см^{-1} аймағындағы жолақ ароматты сақинадағы C-H байланыстарының жазықтықтан тыс тербелістеріне сәйкес келеді. 1141 және 1236 см^{-1} аймақтарындағы жұтылу жолақтары C-O байланыстарының болуын көрсетеді. 1443 және 1588 см^{-1} аймақтарындағы жолақтар ароматты сақинадағы C=C байланыстарының валенттік тербелістеріне тән. 3391 см^{-1} аймағындағы кең жұтылу жолағы гидроксил топтарының болуын көрсетеді.

УК-спектрде (сурет 11) 338 нм аймағында жұтылу максимумы байқалды, бұл ароматты құрылымдағы $\pi \rightarrow \pi^*$ және $n \rightarrow \pi^*$ электрондық ауысулармен байланысты және конъюгацияланған жүйенің түзілгенін көрсетеді.

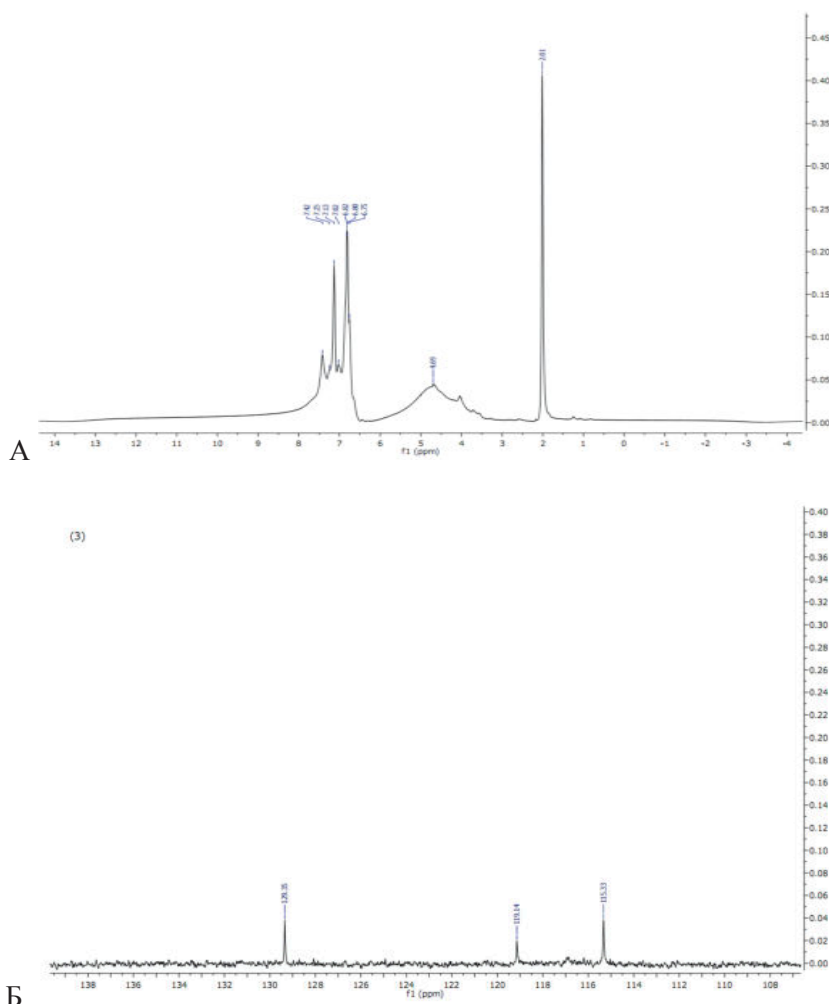
^1H ЯМР спектрінде $\delta\ 6,75\text{--}7,42$ м.ү. аралығында орналасқан мультиплетті сигналдар ароматты сақина протондарына тән болды. ^{13}C ЯМР спектрінде $\delta\ 115,33$; $119,14$ және $129,35$ м.ү. аймақтарында байқалған сигналдар ароматты көміртек атомдарының болуын растады (сурет 12). ИҚ-, УК- және ЯМР-спектроскопия нәтижелері алынған қосылыстың құрамында күкіртпен модификацияланған фенолдық құрылымдардың түзілгенін көрсетті.



Сурет 10. Фенол, формальдегид және күкірт (3 моль) негізіндегі композитті материалдың ИҚ-спектрі.



Сурет 11. Фенол, формальдегид және күкірт (3 моль) негізіндегі композитті материалдың УК-спектрі.



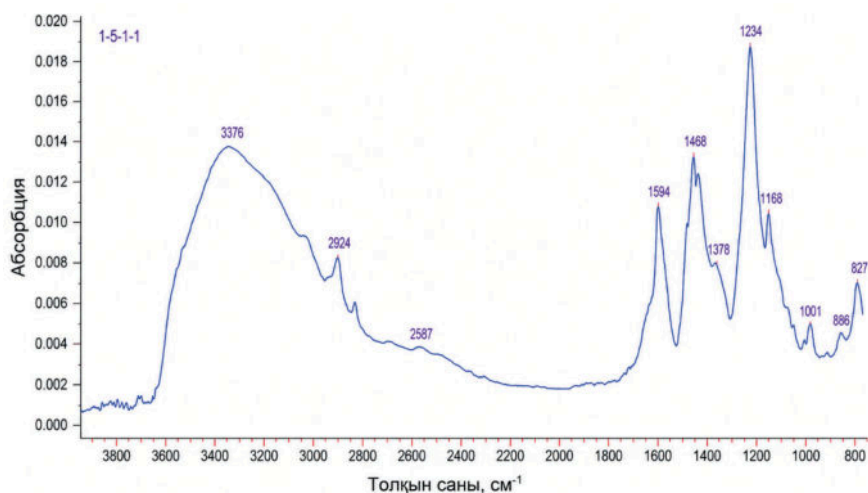
Сурет 12. Фенол, формальдегид және күкірт (3 моль) негізіндегі композитті материалдың (А) ^1H ЯМР- және (Б) ^{13}C ЯМР-спектрлері.

Күкірт мөлшері 5 моль болған жағдайда (7) қосылысы синтезделді. Алынған композициядағы күкірттің массалық үлесі 10,58 % құрады.

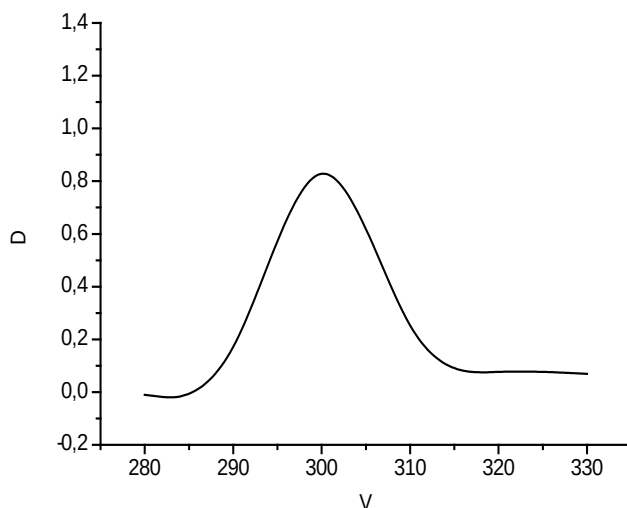
Қосылыстың ИҚ-спектрінде (сурет 13) 827 см^{-1} аймағында байқалған жұтылу жолағы күкірттің органикалық құрылыммен байланысуын және С-S байланыстарының түзілуін дәлелдейді. 1001 см^{-1} аймағындағы жолақ ароматты сақинадағы С-Н байланыстарының жазықтықтан тыс тербелістеріне сәйкес келеді. 1168 және 1234 см^{-1} аймақтарындағы жұтылу жолақтары фенолдық құрылымға тән С-О байланыстарының болуын көрсетеді. 1468 және 1594 см^{-1} аймақтарында тіркелген жолақтар ароматты сақинадағы С=С байланыстарының валенттік тербелістеріне тән. Ал 3376 см^{-1} аймағындағы кең жұтылу жолағы гидроксил топтарының сақталғанын көрсетеді.

УК-спектрде (сурет 14) 301 нм аймағында жұтылу максимумы байқалды, бұл ароматты құрылымдағы электрондық ауысулардың болуын және күкірттің фенол-формальдегидті матрицамен әрекеттесу нәтижесінде конъюгацияланған жүйелердің түзілгенін көрсетеді.

ИҚ және УК-спектроскопиялық зерттеулер нәтижелері күкірттің фенол-формальдегидті матрица құрамына еніп, ароматты құрылымы сақталған жаңа композициялық материал түзілгенін дәлелдейді.



Сурет 13. Фенол, формальдегид және күкірт (5 моль) негізіндегі композитті материалдың ИҚ-спектрі.

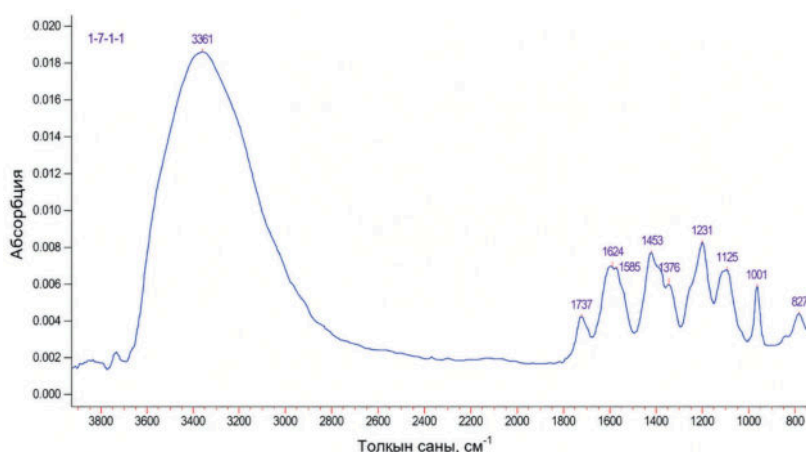


Сурет 14. Фенол, формальдегид және күкірт (5 моль) негізіндегі композитті материалдың УК-спектрі.

Күкірт мөлшері 7 моль болған жағдайда (8) қосылысы синтезделді. Алынған композициядағы күкірттің массалық үлесі 12,23 % құрады. Күкірт мөлшерінің артуы нәтижесінде материалдың түсі қою күлгін түске өзгеріп, құрылымының күрделене түскені байқалды.

Қосылыстың ИҚ-спектрінде (сурет 15) 827 см^{-1} аймағындағы жұтылу жолағы күкірттің органикалық матрицамен байланысуын және C-S байланыстарының түзілуін көрсетеді. 1001 см^{-1} аймағындағы жолақ ароматты сақинадағы C-H байланыстарының жазықтықтан тыс тербелістеріне сәйкес келеді. 1125 және 1231 см^{-1} аймақтарында байқалған жұтылу жолақтары фенолдық құрылымдарға тән C-O байланыстарының болуын дәлелдейді. 1453 және 1624 см^{-1} аймақтарындағы жолақтар ароматты сақинадағы C=C байланыстарының валенттік тербелістеріне тән.

1737 см^{-1} аймағында тіркелген жұтылу жолағы оттекті функционалдық топтардың түзілуін немесе құрылымдағы поликонденсация процесінің тереңдеуін көрсетуі мүмкін. Ал 3361 см^{-1} аймағындағы кең жұтылу жолағы гидроксил топтарының сақталғанын дәлелдейді. ИҚ-спектроскопиялық зерттеу нәтижелері күкірт мөлшерінің артуымен фенол-формальдегидті матрицада құрылымдық өзгерістер жүріп, жаңа күкіртқұрамды композициялық материалдың түзілетінін көрсетті.



Сурет 15. Фенол, формальдегид және күкірт (7 моль) негізіндегі композитті материалдың ИҚ-спектрі.

Алынған композициялық материалдардың әртүрлі полярлығы бар еріткіштердегі ерігіштігі сапалық түрде зерттелді (кесте 1). Сандық ерігіштік көрсеткіштерін анықтау осы жұмыстың мақсатына кірмегендіктен, кестеде ерігіштіктің сапалық сипаттамасы ғана келтірілді. Зерттеу нәтижелері барлық синтезделген үлгілердің суда, гександа және бензолда ерімейтінін көрсетті, бұл олардың кеңістіктік торланған құрылымының қалыптасқанын және гидрофобты қасиеттерге ие екенін дәлелдейді.

Алынған нәтижелер композиттердің еріткіштердегі мінез-құлқы олардың химиялық құрылымы мен функционалдық топтарының табиғатына тәуелді екенін көрсетті. Ацетонда және ішінара этил спиртінде еруі полярлы функционалдық топтардың болуымен түсіндірілсе, суда, гександа және бензолда ерімеуі материалдардың кеңістіктік торланған құрылымы мен жоғары молекулааралық әрекеттесулеріне байланысты.

Кесте 1. Алынған өнімдердің ерігіштігі.

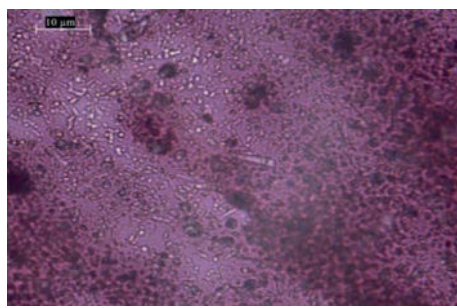
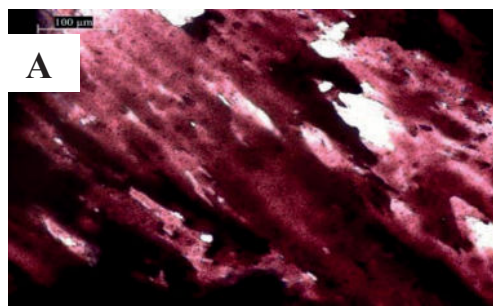
Алынған композитті материал	су	ацетон	этил спирті	гексан	бензол
Анилин, п-ФДА, күкірт	Ем	Е	Ае	Ем	Ем
Фенол, формальдегид, п-ФДА, күкірт	Ем	Е	Е	Ем	Ем
Фенол, формальдегид, күкірт	Ем	Е	Ае	Ем	Ем

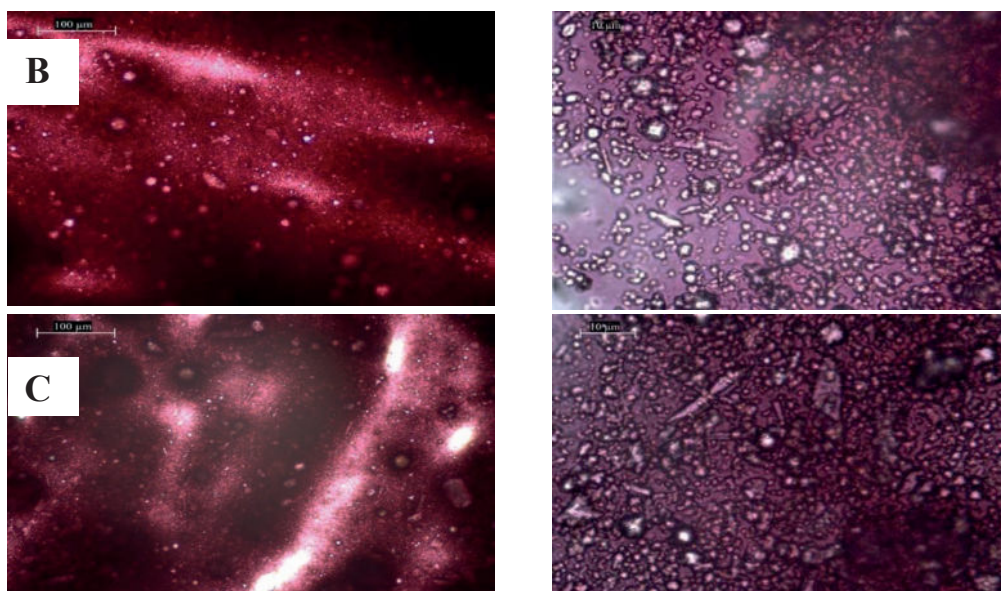
мұндағы, Е – ериді; Ем – ерімейді; Ае – аз ериді.

Композициялық материалдардың морфологиялық ерекшеліктерін зерттеу үшін Leica DM 6000 оптикалық микроскопының көмегімен микрофотосуреттер (сурет 16) алынды. Алынған нәтижелер күкірт мөлшерінің фенол-формальдегидті композициялардың құрылымына елеулі әсер ететінін көрсетті.

Микроскопиялық зерттеулер барысында күкірт мөлшері артқан сайын композициялық материалдардың кеуектілік дәрежесінің жоғарылайтыны байқалды. Атап айтқанда, күкірт мөлшері 3 моль болған үлгілер салыстырмалы түрде біркелкі және тығыз құрылыммен сипатталса, күкірт мөлшерін 5 және 7 мольге дейін арттырғанда құрылымдағы кеуектер саны мен көлемінің ұлғаюы байқалды. Бұл құбылыс күкірттің полимерлік матрицада таралуының өзгеруімен және композицияның ішкі құрылымының қайта ұйымдасуымен түсіндіріледі.

Сонымен қатар күкірт концентрациясының жоғарылауымен үлгілердің түсі ашық күлгін түстен қою күлгін түске дейін өзгерді. Түстің қанықтылығының артуы композиция құрамындағы күкірт мөлшерінің өсуімен және құрылымдағы химиялық түрленулердің тереңдеуімен байланысты болуы мүмкін.





Сурет 16. Күкірт мөлшері 3 моль (А), 5 моль (В) және 7 моль (С) болған фенол-формальдегидті композициялық материалдардың морфологиялық құрылымы.

Осылайша, морфологиялық зерттеулер күкірт мөлшерінің артуы композициялық материалдардың кеуектілік құрылымына және сыртқы түріне тікелей әсер ететінін көрсетті. Алынған нәтижелер күкірттің фенол-формальдегидті матрицаның құрылымдық ұйымдасуына елеулі ықпал жасайтынын дәлелдейді.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде күкірт негізіндегі жаңа композиттік материалдар анилин, п-фенилендиамин, фенол және формальдегид қатысында сілтілік ортада синтезделді. Реакция жүргізу шарттарының әсері зерттеліп, күкірттің аталған органикалық қосылыстармен әрекеттесуінің оңтайлы жағдайлары анықталды. Зерттеу нәтижелері реакциялардың қышқыл ортаға қарағанда сілтілік ортада тиімді жүретінін көрсетті.

Анилин, п-фенилендиамин және күкірт негізінде алынған композит қоңыр түсті ұнтақ түрінде түзіліп, оның шығымы 73,8 %, ал құрамындағы күкірт мөлшері 11,12 % болды. Фенол, формальдегид, п-фенилендиамин және күкірт негізіндегі жүйеде қою қоңыр түсті шайыр тәрізді өнім алынды, оның құрамындағы күкірт мөлшері 7,14 % құрады.

Күкірт мөлшерінің фенол-формальдегидті жүйенің қасиеттеріне әсерін бағалау мақсатында күкірттің мөлшері 3, 5 және 7 мольге дейін арттырылды. Нәтижесінде композициялардағы күкірттің массалық үлесі сәйкесінше 9,47; 10,58 және 12,23 % құрады. Күкірт мөлшерінің артуымен материалдардың түсі ашық күлгіннен қою күлгін түске дейін өзгеріп, морфологиялық құрылымында кеуектіліктің артуы байқалды.

Синтезделген композиттердің құрылымы ИҚ-, УК- және ЯМР-спектроскопия әдістерімен зерттелді. Спектрлік талдау нәтижелері барлық үлгілерде C-S

байланыстарының түзілуін, ароматты құрылымдардың сақталуын және күкірттің полимерлік матрица құрамына енгізілгенін растады. Сонымен қатар ерігіштік зерттеулері алынған материалдардың суда, гександа және бензолда ерімейтінін, ал ацетонда жақсы еритінін көрсетті.

Осылайша, жүргізілген зерттеулер нәтижесінде құрамында күкірт бар жаңа полимерлік композиттер синтезделіп, олардың құрамы, құрылымы және негізгі физика-химиялық қасиеттері анықталды. Алынған нәтижелер күкіртті композиттік материалдарды функционалдық материалдар ретінде әрі қарай зерттеу мен қолдану мүмкіндігін көрсетеді.

References

- Chung W. J., Griebel J. J., Kim E. T., Yoon H., Simmonds A. G., Ji H. J., Dirlam P. T., Glass R. S., Wie J. J., Nguyen N. A., Guralnick B. W., Park J., Somogyi A., Theato P., Mackay M. E., Sung Y. E., Char K., Pyun J. (2013). The use of elemental sulfur as an alternative feedstock for polymeric materials. *Nature Chemistry*. – Vol. 5. – P. 518-524. <https://doi.org/10.1038/nchem.1624> (in Eng.).
- Crockett M. P., Evans A. M., Worthington M. J. H., Albuquerque I. S., Slattey A. D., Gibson C. T., Campbell J. A., Lewis D. A., Bernardes G. J. L., Chalker J. M. (2016). Sulfur-limonene polysulfide: A material synthesized entirely from industrial by-products and its use in removing toxic metals from water and soil. *Angewandte Chemie*. – Vol. 55. – P. 1714-1718. <https://doi.org/10.1002/anie.201508708> (in Eng.).
- Mamutova A. A., Balashov E. V. (2009). Synthesis and modification of sulfur dyes. *Russian Journal of Applied Chemistry*. – Vol. 82(7). – P. 1263-1267. <https://doi.org/10.1134/S1070427209070192> (in Eng.).
- Nurkina A. N., Mamutova A. A., Gabbasova S. M. (2017). Preparation of sulfur pigments based on the interaction of sulfur with aniline. *International Journal of Biology and Chemistry*. – Vol. 10(1). – P. 78-83. <https://doi.org/10.26577/2218-7979-2017-10-1-78-83> (in Eng.).
- Parker D. J., Jones H. A., Petcher S., Cervini L., Akhbar A. R., Griffiths P. C., Hasell T. (2017). Low cost and renewable sulfur-polymers by inverse vulcanization and their potential for mercury capture. *Journal of Materials Chemistry A*. – Vol. 5(23). – P. 11682-11692. <https://doi.org/10.1039/C6TA09862B> (in Eng.).
- Saini P., Sandhu N. (2023). A review on use of elemental sulphur in the synthesis of sulphur-based polymers. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.047> (in Eng.).
- Song H., Meng J., Jiang X. (2025). Sulfur-containing sustainable polymers: Synthetic pathways, degradation mechanisms, and multifunctional applications. *National Science Review*. – Vol. 12(12). – P. 1-30. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwaf475> (in Eng.).
- Tarasova N. P., Zanin A. A., Krivoborodov E. G., Mezhev Y. O. (2021). Elemental sulphur in the synthesis of sulphur-containing polymers: Reaction mechanisms and green prospects. *RSC Advances*. – Vol. 11(15). – P. 9008-9020. <https://doi.org/10.1039/D0RA10507D> (in Eng.).
- Vlahović M., Tee K. F., Vušović N., Savić A., Pejić J., Đorđević N. (2025). Advanced sulfur-polymer composites for sustainable construction: Optimized production and structural performance under acidic exposure. *Construction and Building Materials*. – Vol. 484. – Article 141794. P. 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.141794> (in Eng.).
- Xun X., Jia J., Wang X.-C., Wu X., Quan Z.-J. (2025). From industrial by-products to high-value materials: Synthesizing sulfur-rich polymers for lithium-sulfur battery cathodes from the C5 fraction and sulfur. *Polymer Chemistry*. – Vol. 16(2). – P. 149-155. <https://doi.org/10.1039/D4PY00980K> (in Eng.).
- Yaman B., Yıldız U. (2023). Sustainable sulfur-containing polymers: Synthesis, characterization and applications. *ChemistrySelect*. – Vol. 8. – P. e202204428. <https://doi.org/10.1002/slct.202204428> (in Eng.).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

www.nauka-nanrk.kz

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

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

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

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

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