

ISSN 2710-1185 (Online)

ISSN 1813-1107 (Print)

ЕҢБЕК ҚЫЗЫЛ ТУ ОРДЕНДІ
«Ә. Б. БЕКТҰРОВ АТЫНДАҒЫ
ХИМИЯ ҒЫЛЫМДАРЫ ИНСТИТУТЫ»
АКЦИОНЕРЛІК ҚОҒАМЫ

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ХИМИЯ ЖУРНАЛЫ

ХИМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
КАЗАХСТАНА

CHEMICAL JOURNAL
of KAZAKHSTAN

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
«ИНСТИТУТ ХИМИЧЕСКИХ НАУК
им. А. Б. БЕКТУРОВА»

4(88)

ОКТЯБРЬ – ДЕКАБРЬ 2024 г.

ИЗДАЕТСЯ С ОКТЯБРЯ 2003 ГОДА

ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД

АЛМАТЫ
2024

Журналдың бас редакторы

Директор

Тасибеков Х.С. - х.ғ.к., асоц. проф.

Редакция кеңесінің мүшелері:

Айдемир М., Ph.D., проф., (Туркия); **Бүркітбаев М.М.**, ҚР ҰҒА академигі, х.ғ.д., проф. (Қазақстан); **Дембицкий В.М.**, РЖҒА академигі, х.ғ.д., проф. (Канада); **Дергунов С.А.**, Ph.D., проф. (АҚШ); **Джумадилов Т.Қ.**, х.ғ.д., проф. (Қазақстан); **Журинов М.Ж.**, ҚР ҰҒА академигі, х.ғ.д., проф. (Қазақстан); **Жүсіпбеков Ө.Ж.**, ҚР ҰҒА корр.-мүшесі, т.ғ.д., проф. (Қазақстан); **Зейналов Э.Б.**, Өзірбайжан ҰҒА корр.-мүшесі, х.ғ.д., проф. (Өзірбайжан); **Ибрагимов А.Б.**, х.ғ.д., проф. (Узбекистан); **Қадырбеков Қ.А.**, х.ғ.д., проф. (Қазақстан); **Каюкова Л.А.**, х.ғ.д., проф. (Қазақстан); **Малмакова А.Е.**, PhD (Қазақстан); **Мун Г.А.**, х.ғ.д., проф. (Қазақстан); **Пралиев К.Д.**, ҚР ҰҒА академигі, х.ғ.д. проф. (Қазақстан); **Салахутдинов Н.Ф.**, РҒА корр.-мүшесі, х.ғ.д., проф. (Ресей); **Темель Хамди**, Ph.D., проф. (Түркия); **Фазылов С.Д.**, х.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі (Қазақстан); **Ю В.К.**, х.ғ.д., проф. (Қазақстан); **Жанпейісов Н.Ұ.**, проф., х.ғ.к. (Жапония); **Узакова Ж.Б.** (Техникалық хатшы)

«Қазақстанның химия журналы»

ISSN 2710-1185 (Online); ISSN 1813-1107 (Print)

Құрылтайшы: Еңбек Қызыл Ту орденді Ө.Б. Бектұров атындағы
Химия ғылымдары институты

Тіркеу: Қазақстан Республикасының Мәдениет, ақпарат және қоғамдық
келісім министрлігінде № 3995-Ж 2003 жылғы 25-маусымдағы

2003 жылы құрылған. Жылына 4 рет шығады.

Редакцияның мекен-жайы: 050010 (А26F3Y1), Қазақстан Республикасы, Алматы қ.,
Ш.Уалиханов көшесі, 106. тел. 8 (727) 291-24-64, 8 (727) 291-59-31;
ics_rk@mail.ru

Басылған баспахана: ИП «Тойходжаев Н.О.», Алматы қаласы, Алмалы ауданы,
Нұрмақов, көш. 26/195-49; iparuna@yandex.ru

© АҚ «Ө.Б. Бектұров атындағы
Химия ғылымдары институты», 2024

«Қазпошта» АҚ-ның газет-журналдар каталогында немесе оның қосымшаларында
жазылу индексі **75241**.

Главный редактор

Директор

Тасибеков Х.С. - к.х.н., ассоц. проф.

Редакционная коллегия:

Айдемир М., Ph.D., проф., (Турция); **Буркитбаев М.М.**, академик НАН РК, д.х.н., проф. (Казахстан); **Дембицкий В.М.**, академик РАЕН, д.х.н. проф. (Канада); **Дергунов С.А.**, Ph.D., проф. (США); **Джумадилов Т.К.**, д.х.н., проф. (Казахстан); **Джусипбеков У.Ж.**, член-корр. НАН РК, д.т.н., проф. (Казахстан); **Журинов М.Ж.**, академик НАН РК, д.х.н., проф. (Казахстан); **Зейналов Э.Б.**, член-корр. НАНА, д.х.н., проф. (Азербайджан); **Ибрагимов А.Б.**, д.х.н., проф. (Узбекистан); **Кадирбеков К.А.**, д.х.н., проф. (Казахстан); **Каюкова Л.А.**, д.х.н., проф. (Казахстан); **Малмакова А.Е.**, PhD (Казахстан); **Мун Г.А.**, д.х.н., проф. (Казахстан); **Пралиев К.Д.**, академик НАН РК, д.х.н., проф. (Казахстан); **Салахутдинов Н.Ф.**, член-корр. РАН, д.х.н., проф. (Россия); **Темель Хамди**, Ph.D., проф. (Турция); **Фазылов С.Д.**, д.х.н., проф., академик НАН РК (Казахстан); **Ю В.К.**, д.х.н., проф. (Казахстан); **Жанпеисов Н.У.**, проф., к.х.н. (Япония); **Узакова Ж.Б.** (Технический секретарь).

«Химический журнал Казахстана».

ISSN 2710-1185 (Online); ISSN 1813-1107 (Print)

Учредитель: Ордена Трудового Красного Знамени Институт химических наук им. А.Б. Бектурова.

Регистрация: Министерство культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан № 3995-Ж от 25 июня 2003 г.

Основан в 2003 г. Выходит 4 раза в год.

Адрес редакции 050010 (A26F3Y1), Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Ш. Уалиханова, 106, тел. 8 (727) 291-24-64, 8 (727) 291-59-31; ics_rk@mail.ru

Отпечатано в типографии: ИП «Тойходжаев Н.О.», г.Алматы, Алмалинский район, ул. Нурмакова, 26/195 кв. 49; iparuna@yandex.ru

© АО «Институт химических наук им. А. Б. Бектурова», 2024

Подписной индекс **75241** в Каталоге газет и журналов АО «Казпочта» или в дополнении к нему.

Editor-in-Chief

Director

Tassibekov Kh.S. - Candidate of Chemical Sciences, assoc. prof.

Editorial Board:

Aydemir M., Ph.D., Prof. (Turkey); **Burkitbaev M.M.**, Academician of NAS RK, Doctor of Chemical Sciences, Prof. (Kazakhstan); **Dembitskiy V.M.**, Academician of RANS, Doctor of Chemical Sciences, Prof. (Canada); **Dergunov S.A.**, Ph.D., Prof. (USA); **Dzhussipbekov U.Zh.**, Corr. Member of NAS RK, Doctor of Technical Sciences, Prof. (Kazakhstan); **Fazylov S.D.**, Doctor of Chemical Sciences, Prof., academician of NAS RK (Kazakhstan); **Hamdi Temel**, Ph.D., Prof. (Turkey); **Ibragimov A.B.**, Doctor of Chemical Sciences, Prof. (Uzbekistan); **Jumadilov T.K.**, Doctor of Chemical Sciences (Kazakhstan); **Kadirbekov K.A.**, Doctor of Chemical Sciences, Prof. (Kazakhstan); **Kayukova L.A.**, Doctor of Chemical Sciences, Prof. (Kazakhstan); **Malmakova A.E.**, PhD (Kazakhstan); **Mun G.A.**, Doctor of Chemical Sciences, Prof. (Kazakhstan); **Praliyev K.D.**, Academician of NAS RK, Doctor of Chemical Sciences, Prof. (Kazakhstan); **Salakhutdinov N.F.**, Corr. Member of RAS, Doctor of Chemical Sciences, Prof. (Russia); **Yu V.K.**, Doctor of Chemical Sciences, Prof. (Kazakhstan); **Zhurinov M.Zh.**, Academician of NAS RK, Doctor of Chemical Sciences, Prof. (Kazakhstan); **Zeynalov E.B.**, Corr. Member of NAS of Azerbaijan, Doctor of Chemical Sciences, Prof. (Azerbaijan); **Zhanpeisov N.U.**, Candidate of Chemical Sciences, Professor (Japan); **Uzakova Zh.B.** (Executive Secretary).

«Chemical Journal of Kazakhstan»

ISSN 2710-1185 (Online); ISSN 1813-1107 (Print)

Founder: A.B. Bekturov Institute of chemical sciences awarded by the Order of Red Banner of Labor.

Registration: Ministry of Culture, Information and Public Accord of the Republic of Kazakhstan No. 3995-Ж dated June 25, 2003 year.

«Chemical Journal of Kazakhstan» was founded in 2003 year, publishes four issues in a year.

Address of the Editorial board: 050010 (A26F3Y1), Republic of Kazakhstan, Almaty, Sh. Ualikhanov str., 106, A.B. Bekturov Institute of chemical sciences awarded by the Order of Red Banner of Labor, Fax: 8(727)291-24-64, ics_rk@mail.ru

Printed in the printing house: IP " Toykhodzhaev N.O.", Almaty, Almainsky district, st. Nurmakova, 26/195 sq. 49, iparuna@yandex.ru

SYNTHESIS OF FUEL COMPOUND BASED ON LIGHT DISTILLATE OF COAL TAR

K.A. Kadirbekov^{*1}, *A.Zh. Abyurov*³, *N.A. Buzayev*¹, *N.N. Oralbayev*¹, *G.G. Seitkhal*¹, *S. Dadyka*²,
*I.A. Safronova*³, *S.C. Zholdybayev*¹, *M.T. Oshakbaev*¹, *A.A. Yespenbetov*¹, *S.A. Shitybaev*⁴

¹*A.B. Bekturov Institute of Chemical Science, Almaty, Kazakhstan*

²*ERG Research and Engineering Center LLP, Astana, Kazakhstan*

³*ERG Research and Engineering Center LLP, Pavlodar, Kazakhstan*

⁴*South Kazakhstan Pedagogical University named after Ozbekali Zhanibekov, Shymkent, Kazakhstan*

*E-mail: kkairati@mail.ru

Abstract. The paper considers the process of fuel compound production on the basis of light distillate of coal tar (CT). The analysis of group and individual composition of CT fractions is carried out, the main components including aromatic hydrocarbons, phenols, heteroatomic compounds and asphaltene are revealed, and their physical and chemical characteristics are established. The technique of stabilisation of mixtures of CT distillate and petroleum fuel oil using a surfactant - acrylic acid - has been developed. It is shown that surfactant introduction provides a high degree of homogeneity and stability of fuel compositions, preventing the formation of precipitates even during long-term storage. Optimal ratios of light distillate and fuel oil (70:30 and 50:50) allow to obtain fuel compounds, the characteristics of which meet the requirements for boiler and furnace fuels. The obtained results demonstrate the promising application of light distillate of CT for creation of highly efficient fuel products, which opens new opportunities for processing of coal-chemical raw materials. The proposed approach contributes to improving environmental safety, reducing the toxicity of the final product and expanding the raw material base for fuel production.

Key words: coal tar, light distillate, fuel compound, surfactant, fuel oil, boiler fuel.

<i>Kadirbekov Kairat Adyrbekovich</i>	<i>Doctor of Chemical Sciences, Professor; E-mail: kkairati@mail.ru</i>
<i>Arman Zhumagalievich Abyurov</i>	<i>Engineer technologist Ist category; E-mail: Arman.abuyurov@erg.kz</i>
<i>Buzayev Nurdaulet Amanzholuly</i>	<i>PhD student; E-mail: buzayev.n@gmail.com</i>
<i>Oralbaev Nursultan nurzhanuly</i>	<i>Master student; E-mail: oralbayevn@gmail.com</i>
<i>Seithal Gulnar</i>	<i>Bachelor; E-mail: seitkhal.gulnara@bk.ru</i>
<i>Dadyka Sergey</i>	<i>Coal chemistry manager; E-mail: sergey.dadyka@erg.kz</i>
<i>Inessa Alexandrovna Safronova</i>	<i>Head of Coal Chemistry Laboratory; E-mail: Inessa.Safronova@erg.kz</i>

Citation: Kadirbekov K.A., Abyurov A.Zh., Buzayev N.A., Oralbayev N.N., Seitkhal G.G., Dadyka S., Safronova I.A., Zholdybayev S.C., Oshakbaev M.T., Yespenbetov A.A.. Synthesis of fuel compound based on light distillate of coal tar. *Chem. J. Kaz.*, **2024**, 4(88), 5-13. DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.43>

<i>Zholdybaev Sunkar Sovetzhonovich</i>	<i>Bachelor; E-mail: sunkar85@mail.ru</i>
<i>Oshakbaev Mels Tleuberdievich</i>	<i>Doctor of Technical Sciences, Professor; E-mail: o_mels@mail.ru</i>
<i>Yespenbetov Asylbek Alibekovich</i>	<i>Doctor of Chemical Sciences; E-mail: yespenbetov@mail.ru</i>
<i>Shitybaev Serikbek Altynbekovich</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor; E-mail: shitibaev.serikbek@mail.ru</i>

1. Introduction

Coal tar (CT), a by-product of coke production, has a significant industrial potential due to its complex chemical composition, including condensed aromatic hydrocarbons and other high molecular weight compounds [1-3]. However, its multicomponent nature, high reactivity, and the presence of carcinogenic and toxic compounds make its processing technologically challenging. With the growing global demand for alternative fuel sources and high-yielding chemical products, the processing of CT becomes an important area of scientific research and industrial application.

Current global trends demonstrate high activity in the field of development of coal tar processing technologies for obtaining fuel compounds and valuable chemicals. For example, in China, industrial plants for the production of diesel fuel from CT have been introduced, which allows not only to effectively utilise waste, but also to solve the issues of energy balance [4,5]. Similar studies are actively conducted in the EU countries, where special attention is paid to the creation of environmentally safe recycling processes [6-12].

This paper studies the possibilities of using light fractions of coal tar produced by “Shubarkol Komir” JSC for the synthesis of fuel compound. The study is aimed at developing an innovative approach to the processing of tar, including the use of hydrocarbon component and surfactants, with an assessment of the performance characteristics of the resulting products.

The results of the work have not only practical value for the industry of Kazakhstan, but also correspond to the world trends in the field of creation of effective and environmentally friendly technologies for processing of carbon-containing waste, as the results of the study lays the foundation for the formation of competitive technologies that can ensure sustainable development and diversification of industrial production.

2. Experimental part

Objects and methods. Medium-temperature coal tar (CT) produced by Shubarkol Komir JSC was used for the study. The fractionation process was carried out using nitrogen to prevent secondary reactions and improve heat transfer.

The component composition of the fractions was analysed using IR spectroscopy and chromatography-mass spectrometry. NICOLET 5700 spectrophotometer (FT-IR) with Fourier transform in the range of wave numbers

400-4000 cm^{-1} was used to determine the qualitative composition of CT. The spectra were processed and interpreted using OMNIC software.

Chromatographic analysis was performed on an Agilent 6890 N instrument (Agilent Technologies, USA) with a DV-1 capillary column (27.5 m, 0.32 mm, 10 μm).

Fuel oil of 100 grade with boiling point of 350-360 $^{\circ}\text{C}$ was used as a hydrocarbon component.

The calorific values of fuel compositions based on light distillates of coal tar were determined using Elementar Vario Micro Cub and calorimeter B-08NA 'K'.

Toxicity indicators of fuel compositions were determined in accordance with the interstate normative document GOST 12.1.044-2018 'Fire and explosion hazard of substances and materials' (paragraph 13), which allowed to establish the hazard class of the samples under study.

3. Results and Discussion

The distillation results showed that the lightest fraction of CT (up to 170 $^{\circ}\text{C}$) is 3.6% of the initial resin mass, and the main yields come from the absorption (19.3%) and anthracene (17.2%) fractions [13]. The residue - pectic - was 36.5% of the mass of CT, with characteristics corresponding to GOST: softening point 127 $^{\circ}\text{C}$ and volatile content 50.6% [13].

The analysis of IR spectra showed that the light fraction is characterised by a high content of aromatic hydrocarbons, including benzene and its derivatives. This fact is associated with the formation of azeotropic mixtures and complexes in the composition of CT. In this connection, phenol and naphthalene impurities appear in the benzene fraction, and naphthalene is contained in the phenol fraction, etc. Figure 1 compares the IR spectra of the distillation fractions of CT with the IR spectrum of the initial CT and determines their convergence coefficients (Table 1).

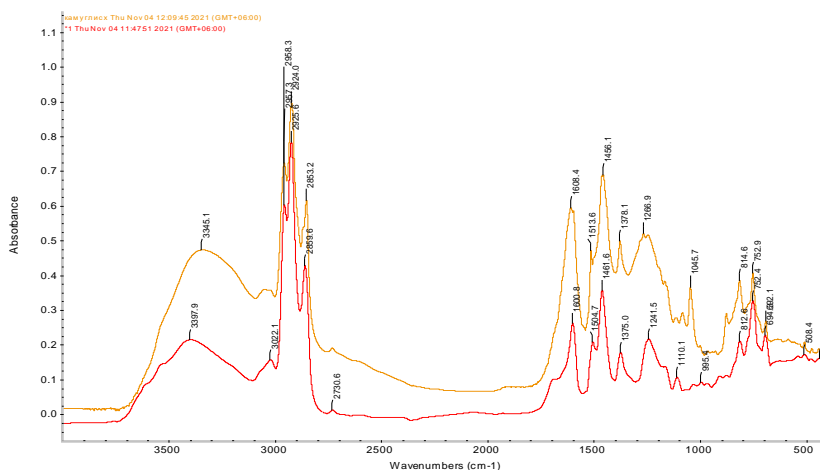


Figure 1 – Comparison of IR spectra of initial CT and light (benzene) fraction

Table 1 - Coefficients of convergence of IR spectra of fractions of CT distillation with IR spectrum of initial CT

№	Fractions	Convergence coefficient, %
1	Light, %	68
2	Phenolic, %	78
3	Naphthalene, %	74
4	Absorbent, %	83
5	Anthracene, %	86

Fractions 4 and 5 are the closest to the initial resin in terms of chemical composition, which indicates the predominance of hydrocarbons in this fraction, constituting the organic mass of CT. Thus, the basis of the fraction 'organic bases', according to the data of chromatography-mass-spectral analysis are nitrogen-containing heterocyclic compounds of quinoline and carbazole types with an admixture of aromatic amines and carbonitriles. The phenolic fraction contains mainly phenols with the number of rings from 1 to 4, furans and long-chain alkanes C₁₈-C₂₆. Asphaltenes include arenas of various degrees of condensation with predominance of three- and four-ringed ones, as well as sulphur-, nitrogen- and oxygen-containing heteroatomic compounds - thiophenes, quinolines, furans. Oils, the dominant fraction of CT, include mainly aromatic compounds of hydrocarbon composition, including unsaturated ones of indene series. Neutral resins are a mixture of nitrogen- and oxygen-containing heteroatomic compounds - quinolines, carbazoles, carbonitriles, furans and ketones.

According to the results of group chemical analysis, the main fractions of CT are oils (63.6 %) and asphaltenes (11.7 %). The total share of other group fractions is less significant - 24.7 %. It should be noted that among the majority of valuable, expensive individual hydrocarbons constituting these fractions, CT also contains substances that give it carcinogenic (pyrene, benz(a)pyrene, benzfluoranthene, benz(a)anthracene, etc.) and toxic (carbazole, carbonitrile) properties. This fact complicates the classified use of coal tar and its distillates.

Nevertheless, the obtained data on group and individual compositions of CT fractions confirm the necessity of their use as a raw material source for obtaining a variety of commercial products. In particular, for obtaining fuel compound on the basis of fractions of CT with achievement of significant reduction of its toxicity and carcinogenicity by mixing with commercial fuel oil.

It is known that petroleum fuel oils and coal tar are mutually insoluble. When they are mixed together, a precipitate precipitates, presumably salting occurs. In addition, the surface tensions of fuel oil and coal tar are different. Between petroleum and tar oils there is, for equal viscosity, a difference in surface tension of about 10 dyne/cm. The mixture was therefore stabilised by the introduction of surfactants. Acrylic acid was tested as a surfactant.

Light distillate (n.k.-360°C) and fuel oil are dispersed systems, the state of which depends on the temperature of experience, heating temperature, in

connection with what, at mixing, the same temperature of components 60-80 °C was chosen. Light distillate, surfactant and fuel oil were mixed sequentially. Duration of mixing 10-60 minutes to obtain a homogeneous mass. The ratio of components (light distillate:fuel oil) in the fuel compound was, % - 30:70, 50:50 and 70:30. Surfactant was introduced in the amount of 0.5; 0.6; 1.0 or 4.0 %. As a result of homogenisation we obtained highly dispersed fuel compounds with high stability to stratification during long-term storage. Fuel compound of composition light distillate: fuel oil 70:30, as well as 50:50, have characteristics commensurate with those of commercial fuel oil and heating oil shown in Table 2.

Table 2 - Quality indicators of the developed fuel compositions.

№	Indicator	Normative document	Indicator value			
			Fuel composition L4 (70% light distillate + 30% fuel oil) + 0.6% surfactants)	Fuel composition L5 (50% light distillate + 50% fuel oil) + 0.6%	Fuel oil commercial M-100; GOST 10585-99	Domestic heating oil; ST RK 2951-2021
1	Kinematic viscosity at 20°C, not more than, mm ² /s	GOST 33-2016	-	-	-	8.0
2	Kinematic viscosity at 50°C, not more, mm ² /s	GOST 33-2016	14.51	23.04	-	-
3	Kinematic viscosity at 80°C, not more, mm ² /s conditional, °VU;	GOST 33-2016	5.388	7.598	11.84	-
4	Kinematic viscosity at 100°C, not more	GOST 33-2016	3.416	5.208	5.0	-
5	Flash point in open crucible, not less than °C	GOST 4333-2014	116	102	110	-
6	Ash content, not more, %	GOST 1461-75	0.1	0.006	0.14	0.02
7	Mass fraction of water, not more %	GOST 2477-2014	0.4	0.7	1	traces
8	Coking ability, %, not more %	GOST 19932-99	1.77	2.40	-	0.35
9	Content of water-soluble acids and alkalis	GOST 6307-75	Weakly alkaline	absence	absence	absence
10	Mass fraction of sulphur, not more, %	ST RK ASTM D 4551-	0.02	0.02	0.5 – 3.0	0.5 (GOST R 51947)

One of the most important technical characteristics of fuel is its calorific value. Heat of combustion of fuel is the amount of heat released during complete combustion of fuel. Values of heat of combustion of fuel compositions on the basis of light distillates of coal tar make 39517 - 42 000 kJ/kg that correspond to the interval of value of working lowest heat of combustion of furnace fuel oil ($Q_{rn} = 35\ 500 - 42\ 000$ kJ/kg) and boiler (furnace) fuel ($Q_{rn} \sim 40\ 000$ kJ/kg). Thus, the obtained fuel compositions, by many quality indicators, meet the requirements and norms for boiler (furnace) fuel and by some indicators - for commercial fuel oil. Toxicity indicators were determined and on their basis the hazard class of fuel compositions in accordance with the interstate normative document GOST12.1.044-2018 'Fire and explosion hazard of substances and materials', item 13 (Table 3).

Table 3 - Toxicity indicators and hazard class of fuel compositions according to GOST 12.1.044-2018 'Fire-explosive hazard of substances and materials', item 13.

№	Composition	Toxicity index, H_{CL50} , g/m ³	Hazard class, (T _h)	Name of the category of fuel composition hazard class
1	(30 % Light distillate + 70 % Fuel oil) + 0.6 % surfactant (acrylic acid)	72.36	(T2)	Moderately hazardous
2	(50 % Light distillate + 50 % Fuel oil)+ 0.6 % surfactant (acrylic acid)	43.22	(T2)	Moderately hazardous
3	(70 % Light distillate + 30 % Fuel oil) + 0.6 % surfactant (acrylic acid)	37.44	(T3)	Highly hazardous
4	100 % Light distillate (original)	55.72	(T2)	Moderately hazardous
5	100 % Fuel oil (commercial)	30.33	(T3)	Highly hazardous

Analysis of the data in Table 3 shows that according to the value of the toxicity index of combustion products, the initial light distillate belongs to moderately hazardous materials.

4. Conclusion

The results of this study confirm the prospects of using light distillate of CT as a basis for fuel compounds production. The study of the group and individual composition of CT fractions showed a wide range of valuable hydrocarbon compounds, including aromatic hydrocarbons, phenols, heteroatomic compounds (quinolines, carbazoles, furans) and asphaltenes, which can be used in various technological processes. A key limitation of the use of CT distillates remains the presence of carcinogenic (pyrene, benz(a)pyrene) and toxic compounds (carbazole, carbonitrile), which requires additional measures for their processing or neutralisation. Nevertheless, the proposed method of producing fuel compounds using surfactants such as acrylic acid, oleic acid and waste coolant allows to significantly reduce the toxicity and carcinogenicity of the final product. It has been experimentally established that the introduction of surfactants in concentrations from 0.6% ensures the stability of the obtained fuel compositions, preventing the formation of precipitates even during long-term storage. Optimal ratios of fuel compound components (light distillate: fuel oil) in the range of 70:30 and 50:50 provide characteristics comparable to commercial boiler and furnace fuels. The resulting fuel compounds exhibit a high degree of homogeneity, thermal and chemical stability. Their properties such as viscosity, density and heat of combustion meet the regulatory requirements for liquid fuels. In addition, the proposed approach to the processing of CT allows to minimise waste and expand the raw material base for the production of fuels.

Thus, the proposed technology of obtaining fuel compounds on the basis of light distillate of coal tar represents an environmentally and economically justified solution that allows to process secondary products of coal chemistry into high-quality commercial fuels.

Conflict of Interest: The authors declare that there is no conflict of interest requiring disclosure in this article.

СИНТЕЗ ТОПЛИВНОГО КОМПАУНДА НА ОСНОВЕ ЛЁГКОГО ДИСТИЛЛЯТА КАМЕННОУГОЛЬНОЙ СМОЛЫ

*К.А. Кадирбеков^{*1}, А.Ж. Абюров, Н.А. Бузаев, Н.Н. Оралбаев, Г.Г. Сейтхал¹, С.Дадыка², И.А. Сафронова, С.С. Жолдыбаев¹, М.Т. Ошакбаева¹, А.А. Еспенбетов¹, С.А.Шитыбаев⁴*

¹Институт химических наук имени А.Б. Бектурова, Алматы, Казахстан

²ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG», Астана, Казахстан

³ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG», Павлодар, Казахстан

⁴Южно-Казахстанский педагогический университет имени Озбекали Жанибекова,

Шымкент, Казахстан

*E-mail: kkairati@mail.ru

Резюме. В статье рассмотрен процесс получения топливного компаунда на основе лёгкого дистиллята каменноугольной смолы (КУС). Проведён анализ группового и индивидуального состава фракций КУС, выявлены основные компоненты, включая ароматические углеводороды, фенолы, гетероатомные соединения и асфальтены, а также установлены их физико-химические характеристики. Разработана методика стабилизации смесей дистиллята КУС и нефтяного мазута с

использованием поверхностно-активного вещества (ПАВ) – акриловой кислоты. Показано, что введение ПАВ обеспечивает высокую степень гомогенности и стабильности топливных композиций, предотвращая образование осадков даже при длительном хранении. Оптимальные соотношения лёгкого дистиллята и мазута (70:30 и 50:50) позволяют получить топливные компаунды, характеристики которых соответствуют требованиям к котельным и печным топливам. Полученные результаты демонстрируют перспективность применения лёгкого дистиллята КУС для создания высокоэффективных топливных продуктов, что открывает новые возможности для переработки углехимического сырья. Предложенный подход способствует повышению экологической безопасности, снижению токсичности конечного продукта и расширению сырьевой базы для производства топлива.

Ключевые слова: каменноугольная смола, легкий дистиллят, топливный компаунд, ПАВ, мазут, котельное топливо.

<i>Кадирбеков Кайрат Адырбекович</i>	<i>Доктор химических наук, профессор</i>
<i>Абюров Арман Жумагалиевич</i>	<i>Инженер-технолог I категории</i>
<i>Бузаев Нурдаулет Аманжолулы</i>	<i>PhD студент</i>
<i>Оралбаев Нурсултан Нуражанулы</i>	<i>Магистр</i>
<i>Сейтхал Гулнара</i>	<i>Бакалавр</i>
<i>Дадыка Сергей</i>	<i>Менеджер по химии угля</i>
<i>Сафронова Инесса Александровна</i>	<i>Начальник лаборатории углехимии</i>
<i>Жолдыбаев Сункар Советжанович</i>	<i>Бакалавр</i>
<i>Ошакбаев Мэлс Тлеубердиевич</i>	<i>Доктор технических наук, профессор</i>
<i>Еспенбетов Асылбек Алимбекович</i>	<i>Доктор химических наук</i>
<i>Шитыбаев Серикбек Алтынбекович</i>	<i>Кандидат химических наук, доцент</i>

КӨМІР ШАЙЫРЫ ЖЕҢІЛ ДИСТИЛЛАТЫНЫҢ НЕГІЗІНДЕ ЖАНАРМАЙ ҚОСЫЛЫСЫНЫҢ СИНТЕЗІ

*К.А. Кадирбеков^{*1}, А.Ж. Абюров, Н.А. Бузаев, Н.Н. Оралбаев, Г.Г. Сейтхал¹, С.Дадыка², И.А. Сафронова, С.С. Жолдыбаев¹, М.Т. Ошакбаев¹, А.А. Еспенбетов¹, С.А.Шитыбаев⁴*

¹Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты, Алматы, Қазақстан

²ERG-дің ғылыми-зерттеу және инжиниринг орталығы» ЖШС, Астана, Қазақстан

³ERG-дің ғылыми-зерттеу және инжиниринг орталығы» ЖШС, Павлодар, Қазақстан

⁴Өзбекәлі Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университеті, Шымкент, Қазақстан

^{*}E-mail: kkairati@mail.ru

Түйіндеме. Мақалада жеңіл көмір шайырының дистилляты (КШ) негізіндегі отын қоспасын алу процесі қарастырылады. КШ фракцияларының топтық және жеке құрамына талдау жүргізілді, негізгі компоненттер, оның ішінде ароматты көмірсутектер, фенолдар, гетероатомды қосылыстар және асфальтендер анықталды және олардың физика-химиялық сипаттамалары белгіленді. ББЗ (беттік белсенді зат) – акрил қышқылын пайдалана отырып, КШ дистилляты мен мұнай мазутының қоспаларын тұрақтандыру әдісі әзірленді. Беттік-белсенді заттарды енгізу отын құрамының жоғары біртектілігі мен тұрақтылығын қамтамасыз ететіні, тіпті ұзақ сақтау кезінде шөгінділердің пайда болуына жол бермейтіні көрсетілген. Жеңіл дистиллят пен мазуттың онтайлы арақатынасы (70:30 және 50:50) сипаттамалары қазандық және пеш отындарына қойылатын талаптарға сәйкес келетін отын қоспаларын алуға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер көмірдің химиялық шикізатын қайта өңдеудің жаңа мүмкіндіктерін ашатын жоғары тиімді отын өнімдерін жасау үшін жеңіл дистиллятты КШ пайдалану уәдесін көрсетеді. Ұсынылған тәсіл экологиялық қауіпсіздікті жақсартуға, соңғы өнімнің ұйыттылығын төмендетуге және отын өндірісінің шикізат базасын кеңейтуге көмектеседі.

Түйін сөздер: көмір шайыры, жеңіл дистиллят, отын қосындысы, беттік белсенді зат, мазут, қазандық отын.

Кадирбеков Қайрат Адырбекович	<i>Химия ғылымдарының докторы, профессор</i>
Абуров Арман Жұмағалиевич	<i>I санатты инженер-технолог</i>
Бузаев Нурдаулет Аманжолдулы	<i>PhD студент</i>
Оралбаев Нурсултан Нуражанұлы	<i>Магистр</i>
Сейтхал Гулнара	<i>Бакалавр</i>
Дадыка Сергей	<i>Көмір химиясының менеджері</i>
Сафронова Инесса Александровна	<i>Көмір химиясы зертханасының меңгерушісі,</i>
Жолдыбаев Сункар Советжанович	<i>Бакалавр</i>
Ошакбаев Мэлс Тлеубердиевич	<i>Техника ғылымдарының докторы, профессор</i>
Еспенбетов Асылбек Алимбекович	<i>Химия ғылымдарының докторы</i>
Шитыбаев Серикбек Алтынбекович	<i>Химия ғылымдарының кандидаты, доцент</i>

References

- Granda M., Blanco C., Alvarez P., Patrick J.W., Menéndez R. Chemicals from coal coking. *Chem. Rev.*, **2014**, 114, 1608–36.
- Y.H., Zhao W.B., Xia J.P., Liu Q.X., Yang R., Li G.B. Progresses in the separation and purification of coal tar. *Petrochemical Technology.*, **2014**, 43:848–55. (In Chinese)
- Ma Z.-H., Wei X.-Y., Liu G.-H., Liu F.-J., Zong Z.-M. Value-added utilization of high-temperature coal tar: A review. *Fuel.*, **2021**, 292, 119954. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119954>
- Ковалев Е.Т., Чешко Ф.Ф. Новые технологические процессы в области переработки каменноугольной смолы. *УглеХими. Ж.*, **2010**, 3-4, 95–101.
- Kim S., Baikenov M., Aitbekova D., Ibishev K., Meiramov M., Ma F. Thermal degradation of primary coal tar distillate in the presence of iron nanopowder. *Chem. Bulletin of Kaz. Nat. Univ.*, **2022**, 3, 36–41. <https://doi.org/10.15328/cb1278>
- Blümer G.-P., Kleffner H.W., Lücke W., Zander M. Fractionation of coal-tar pitch by extrography. *Fuel.*, **1980**;59(8):600–2. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(80\)90241-0](https://doi.org/10.1016/0016-2361(80)90241-0)
- Shui H., Li A., Xia Q., Yan J. Synergistic effect on co-hydrogenation of coal-petroleum co-processing oil and washing oil from coal tar distillate. *SSRN.*, **2023**. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4329817>
- Brief description about influence of process conditions on fixed-bed medium pressure coal tar coal diesel distillate hydrogenation unit. *Foreign Lang. Sci. and Tech. J. Database Engin.Tech.*, **2021**. <https://doi.org/10.47939/et.v2i12.91>
- Teo K.C., Watkinson A.P. Product distributions from catalytic hydrotreating of a coal tar middle distillate. *Fuel.*, **1990**, 69, 10, 1211–8. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(90\)90279-y](https://doi.org/10.1016/0016-2361(90)90279-y)
- Wu J.C.-S., Sung H.-C., Lin Y.-F., Lin S.-L. Removal of tar base from coal tar aromatics employing solid acid adsorbents. *Separ. and Purif. Tech.*, **2000**, 21, 1–2, 145–53. [https://doi.org/10.1016/s1383-5866\(00\)00198-2](https://doi.org/10.1016/s1383-5866(00)00198-2)
- Comparative studies of petroleum residues and coal tar by air blowing. *Fuel and Ener. Abstr.*, **2002**, 43, 3,185. [https://doi.org/10.1016/s0140-6701\(02\)85709-5](https://doi.org/10.1016/s0140-6701(02)85709-5)
- Shaw J. Phase behaviour of heavy oil & tar mats. *Sec. EAGE Workshop on Tar Mats and Heavy Oil - Nuisance or Resources?* **2010**, <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20144621>
- Kadirbekov K.A., Buzaev N.A., Oralbaev N.N., Seitkhal G.G., Dadyka S., Abyurov A.Zh., Kim K.K., Tusupkaliev E.A., Espenbetov A.A., Kainarbayeva Zh.N. Production of carbonaceous materials using coal tar resin and investigation of their surface properties. *Chem. J Kaz.*, **2023**, 4, 84. (In Russian) <https://doi.org/10.51580/2021-1/2710-1185.16>

SYNTHESIS AND STUDY OF MUCOADHESIVE PROPERTIES OF THIOLATED POLYMERS BASED ON POLYHYDROXYETHYLMETHACRYLATE AND 3-MERCAPTOPROPYLTRIMETHOXYSILANE

G.S. Irmukhametova¹, D.N. Makhayeva^{1*}, Zh. Kozhantayeva¹, V.V. Khutoryanskiy²

¹al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²University of Reading, Reading, United Kingdom

*E-mail: Danelya.1993@gmail.com

Abstract. *Introduction.* Mucoadhesive drug delivery systems, which adhere to mucosal surfaces, facilitate prolonged retention and uniform release of active substances, enhancing therapeutic efficacy. These systems include adhesive patches, gels, tablets, films, discs, nanoparticles and microspheres. Polymers with mucoadhesive properties should be hydrophilic and possess sufficient functional groups to form hydrogen bonds. Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) (PHEMA) is a biocompatible hydrophilic polymer widely used as a biomaterial. Modification of PHEMA with various functional groups could potentially extend its application range. *The purpose of this work* is to chemically modify nonionic PHEMA (20 kDa) using 3-mercaptopropyltrimethoxysilane (3-MPTS) to improve mucoadhesive properties, presenting a novel approach in the field. *The methodology* of this work includes the synthesis of PHEMA modified with 3-MPTS, determination of thiol group content, preparation and physicochemical characterisation of model tablets, evaluation of adhesive properties to ex vivo buccal tissues and drug release. *The results* indicated that the new method for synthesising thiolated PHEMA significantly enhanced adhesion compared to unmodified PHEMA. The use of an acidic catalyst increased the efficiency of this reaction, resulting in a polymer with greater thiol group content. The release of prochlorperazine from PHEMA-MPTS tablets occurred over 40 minutes, which is significantly higher than the commercial product Bukastem. *Conclusion.* The developed buccal exhibited excellent mucoadhesive properties and prolonged drug release.

Key words: buccal tablets, thiolation, adhesive properties, drug release, Ellman`s assay.

<i>Irmukhametova Galiya Serikbayevna</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor; E-mail: galiya.irm@gmail.com</i>
<i>Makhayeva Danelya Nurlanovna</i>	<i>PhD, senior researcher; E-mail: danelya.1993@gmail.com</i>
<i>Kozhantayeva Zhansaya</i>	<i>PhD student; E-mail: k.j.e.94_zk@mail.ru</i>
<i>Khutoryanskiy Vitaliy</i>	<i>PhD, Professor of Formulation Science; E-mail: v.khutoryanskiy@reading.ac.uk</i>

Citation: Irmukhametova G.S., Makhayeva D.N., Kozhantayeva Zh., Khutoryanskiy V. Synthesis and study of mucoadhesive properties of thiolated polymers based on polyhydroxyethylmethacrylate and 3-mercaptopropyltrimethoxysilane. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 4(88), 14-24. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.44>

СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ МУКОАДГЕЗИВНЫХ СВОЙСТВ ТИОЛИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИГИДРОКСИЭТИЛМЕТАКРИЛАТ И 3-МЕРКАПТОПРОПИЛТРИМЕТОКСИСИЛАНА

Г.С. Ирмухаметова¹, Д.Н. Махаева^{*1}, Ж. Кожантаева¹, В.В. Хуторянский²

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Университет Рединга, Рединг, Великобритания

*E-mail: Danelya.1993@gmail.com

Резюме. *Введение.* Мукоадгезивные лекарственные формы, обладающие способностью прилипать к слизистым оболочкам, обеспечивают длительное удержание и равномерное высвобождение активных веществ, что улучшает терапевтический эффект. К таким формам относятся адгезивные пластыри, гели, таблетки, пленки, диски, наночастицы и микросферы. Полимеры, обладающие мукоадгезивными свойствами, должны быть гидрофильными и содержать достаточное количество функциональных групп для формирования водородных связей. Поли(2-гидроксиэтилметакрилат) (ПГЭМА) является биосовместимым гидрофильным полимером, активно используемым в различных биоматериалах. Модификация ПГЭМА различными функциональными группами расширяет его применение. *Цель работы* заключалась в химической модификации ПГЭМА 20 кДа с 3-меркаптопропилтрисилоксаном (3-МПТС), характеристике и изучении мукоадгезивных свойств модифицированного полимера для использования в виде таблеток в буккальной доставке лекарственных веществ. *Методология работы* включает синтез модифицированного 3-МПТС ПЭГМА, определение содержания тиольных групп, получение и физико-химическая характеристика буккальных таблеток, изучение мукоадгезивных свойств таблеток и высвобождения лекарственного вещества. *Результаты* показали, что в результате синтеза тиолированных полимеров на основе ПГЭМА и 3-МПТС, получены полимеры с улучшенной мукоадгезией по сравнению с немодифицированным ПГЭМА. Использование кислотного катализатора способствовало повышению содержания тиольных групп в полимере. Таблетки на основе ПГЭМА-МПТС обладают лучшей мукоадгезией к слизистой поверхности по сравнению с Букастем. Высвобождение прохлорперазина дималеата из таблеток на основе ПЭГМА-МПТС осуществлялось в течение 40 мин, что значительно выше по сравнению с коммерческим аналогом Букастем. *Заключение.* Полученные буккальные таблетки продемонстрировали отличные мукоадгезивные свойства и длительное высвобождение активного вещества по сравнению с коммерческим аналогом Букастем.

Ключевые слова: буккальные таблетки, тиолирование, мукоадгезивные свойства, высвобождение лекарства, метод Элмана.

<i>Ирмухаметова Галия Серикбаевна</i>	<i>Кандидат химических наук, доцент</i>
<i>Махаева Данэля Нурлановна</i>	<i>PhD, старший научный сотрудник</i>
<i>Кожантаева Жансая</i>	<i>PhD студент</i>
<i>Хуторянский Виталий Викторович</i>	<i>PhD, профессор</i>

1. Введение

Пероральный путь введения лекарственных веществ (ЛВ) является наиболее распространенным и предпочтительным способом доставки, благодаря легкости, точной дозировке и контролируемому графику приема [1]. Однако у этого метода есть недостатки, такие как эффект первого прохождения, энзиматическое разложение в желудочно-кишечном тракте и медленное начало действия. Для решения этих проблем мукоадгезивная и подъязычная доставка могут стать лучшими альтернативами [2].

Мукоадгезивные лекарственные формы способны прилипать к слизистым оболочкам, что увеличивает время их удержания и обеспечивает пролонгированное высвобождение ЛВ. Слизистая оболочка присутствует в различных участках организма, таких как желудочно-кишечный тракт, урогенитальный тракт, носовая полость и дыхательные пути [3].

Буккальная слизистая ротовой полости обладает высокой васкуляризацией, обеспечивая прямой кровоток в яремный венозный синус, что позволяет избежать метаболизма ЛВ в желудочно-кишечном тракте. К основным преимуществам буккальной системы доставки относятся легкость введения, возможность немедленного прекращения при побочных эффектах и использование ингибиторов энзимов для повышения проницаемости [4].

Тиолированные полимеры, или тиомеры, обладают уникальными мукоадгезивными свойствами, позволяя образовывать прочные ковалентные связи с гликопротеинами слизистой оболочки. По сравнению с нетиолированными аналогами, они обеспечивают более высокую адгезию и длительное время удержания на поверхности слизистой [5].

ПГЭМА — биосовместимый гидрофильный полимер, широко используемый в биомедицине. Основные области применения ПГЭМА включают мягкие контактные линзы, устройства для доставки лекарств, стоматологические композиты, импланты, гидрогелевые повязки, катетеры и протезы [6]. Первые попытки улучшить мукоадгезивные свойства ПГЭМА были предприняты в работе [7] с добавлением полиэтиленоксида молекулярной массой 1000 Да к микрочастицам ПГЭМА. Также была проведена химическая модификация ПГЭМА для повышения мукоадгезии при окулярной доставке лекарств [8]. Модификация с использованием фенолбороновой кислоты улучшила мукоадгезивные свойства и укрепила взаимодействие смачивающего агента с ПГЭМА. В результате, применение 3-(акриламидо)фенолбороновой кислоты может быть полезно для разработки гидрогелевых контактных линз с высвобождением офтальмологических ЛВ.

В настоящей работе была осуществлена химическая модификация неионного ПГЭМА молекулярной массы 20 000 Да 3-меркаптопропилтрисилоксаном (3-МПТС) для улучшения мукоадгезивных свойств полимера и его дальнейшего применения в составе буккальных таблеток.

2. Экспериментальная часть

2.1 Материалы

ПГЭМА ММ 20 000 Да, 5,5'- дитиобис(2-нитробензойная кислота) (ДТНБ) ($\geq 98\%$), цистеина гидрохлорид (99 %), прохлорперазин дималеат и стеарат магния производства (Sigma Aldrich), 3-МПТС (95 %) (ABCR GmbH & Co., Германия), Букастем 3 мг (Alliance Pharmaceuticals, Великобритания). Диметилсульфоксид (ДМСО), NH_4OH , NaOH и HCl марки «х.ч.» (Fisher Scientific Ltd., Великобритания).

2.2 Синтез модифицированного ПЭГМА-МПТС

Модификация ПЭГМА проводилась согласно методике, описанной в работе [9]. Для этого, 0.52 г ПЭГМА растворяли в 20 мл ДМСО, после чего добавляли 2.25 мл 3-МПТС и 1.5 мл 0.5 М NaOH или HCl. Полученную смесь перемешивали при комнатной температуре в течение 24 часов. После окончания синтеза модифицированные образцы ПЭГМА очищали диализом против воды и этилового спирта поочередно в течение 48 часов. Для этой цели использовалась диализная мембрана MM 12–14 кДа (Medicell Int. Ltd., Великобритания). После диализной очистки образцы были высушены в лиофильной сушилке (Heto Power Dry LL 3000, Thermo Electron Corp.).

2.3 Получение буккальных таблеток на основе модифицированных образцов ПЭГМА и их физико-химическая характеристика

Партии таблеток были изготовлены из смесей, полученных совместным измельчением модифицированного ПЭГМА (ПЭГМА_HCl и ПЭГМА_NaOH) и стеарата магния (1.5 масс.% от массы ПЭГМА) с добавлением 3 масс.% проклоперазина дималеата. Измельчение проводили методом перетира в ступке всех компонентов до получения однородной по структуре порошкообразной массы, без содержания крупных частиц. Таблетки получали с использованием ручного таблеточного пресса Riva SA Minipress МП (Великобритания). В результате были получены таблетки на основе ПЭГМА, ПЭГМА-МПТС_HCl и ПЭГМА-МПТС_NaOH. Для сравнения свойств изучаемых таблеток использовали коммерческий медицинский препарат в виде буккальных таблеток Букастем 3 мг.

Согласно информации производителя, таблетка Букастема содержит 3 мг активного ингредиента прохлорперазина малеата. Другие ингредиенты: прессуемый сахар (сахароза), повидон К30, ксантановая камедь, камедь рожкового дерева, тальк, стеарат магния и рибофлавина натрия фосфат.

Твердость таблеток оценивалась с использованием 6D Tablet tester, Corpley Scientific. Размеры таблеток измерялись с помощью цифрового микрометра Fowler IP 54.

2.4 Приготовление раствора искусственной слюны (ИС)

Раствор ИС был приготовлен по протоколу [10] при температуре 25 °С и pH= 6.5- 6.8. 0.426 г Na₂HPO₄, 1.68 г NaHCO₃, и 0.147 г CaCl₂ были растворены в 800 мл воды и добавили 2.5 мл 1 М HCl для регулирования значения pH. Раствор хранился при комнатной температуре в темном месте.

2.5 Определение содержания SH групп методом Элмана

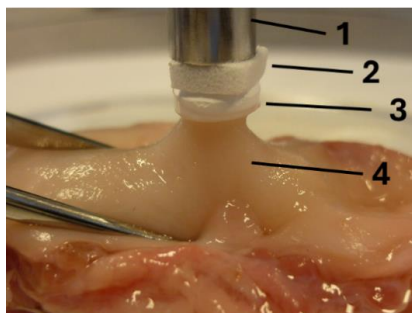
Содержание тиольных групп в полимере было определено методом Элмана [11]. Для анализа все образцы были высушены в лиофильной сушилке. Дисперсии образцов с концентрацией 2 мг/мл приготовлены в 500 мкл фосфатного буфера (0,5М, pH8) и перемешивались в течение 1ч. Тем временем, 3 мг реагента Элмана или ДТНБ растворяли в 10 мл фосфатного буфера. Затем к 500 мкл раствора ДНТБ добавили 500 мкл дисперсии и инкубировали в темноте в течение 90 мин. После этого дисперсию образцов с ДТНБ центрифугировали в течение 10 мин при 13000 об/мин (Sanyo, MSE

Micro Centaur). Для 300 мкл отцентрифугированного раствора измеряли абсорбцию при 405нм на УФ-спектрометре (Spectra max 340 ПК). Концентрацию тиольных групп рассчитывали с помощью калибровочной кривой гидрохлорида цистеина, полученной в виде серии растворов в тех же условиях и с диапазоном концентраций 0.020 ± 0.793 мкмоль/мл.

2.6 Изучение мукоадгезивных свойств методом отрыва

Адгезивные свойства таблеток по отношению к свиной буккальной мукозе оценивались с использованием TA.XT plus Texture Analyser (Stable Micro System, Surrey, UK) согласно методике, представленной в работе [12]. Образец ткани свиной буккальной мукозы был взят с женской особи Большой белой свиньи весом 65-75 кг. Образцы ткани свиной буккальной мукозы размером 3×3 см устанавливали в нижней части установки и закрепляли с помощью металлической пластины с круглым отверстием (рисунок 1). После этого образцы биологической ткани смачивали раствором ИС (1-2 мл) для воспроизведения реальных условий ротовой полости. Испытуемые таблетки закрепляли на подвижном зонде с помощью двойного скотча. После этого подвижный зонд с таблеткой опускали до установления контакта с поверхностью слизистой оболочки и затем начинали подъем зонда для отрыва таблетки от биологической ткани. Каждый эксперимент повторяли троекратно.

Были использованы следующие настройки: предскоростной тест – 1.00 мм/сек; скорость испытания – 0.05 мм/сек; скорость после испытания – 0.5 мм/сек; приложенная сила – 0.1 Н; усилие срабатывания – 0,1Н; время контакта – 60 сек; и обратное расстояние – 20 мм. При изучении адгезии строились кривые зависимости силы (N) от расстояния (мм) и из полученных кривых отрыва были вычислены 2 основных параметра: сила отрыва и работа адгезии. Сила отрыва определялась как максимальная сила, необходимая для отделения таблетки от поверхности и она является максимумом на кривой отрыва. Общая работа адгезии рассчитывалась как площадь под кривой и представляет собой энергию, необходимую для разделения двух фаз.



1 – подвижный зонд, 2 – двойной скотч, 3 – испытуемая таблетка, 4 – биологическая ткань

Рисунок 1 - Изучение мукоадгезивных свойств методом отрыва

2.7 Изучение высвобождения ЛВ из таблеток

Определение высвобождения проклоперазина дималеата из таблеток проводили в ячейке Франца с использованием диализной мембраны 12-14 кДа в проточных условиях. Ячейка была погружена в термостатируемую баню (37°C) и наполнена фосфатно-буферным раствором (ФБР) (рН 6.0-6.5). Таблетки с ЛВ помещались на диализную мембрану в донорной части ячейки. Через каждые 5 минут в течение 30 минут, затем через каждые 10 минут в течение 90 минут отбирались пробы объемом 1 мл из акцепторной части ячейки и определяли концентрацию проклоперазина дималеата с помощью УФ-спектрофотометра при длине волны 524 нм. После каждого отбора пробы добавляли 1 мл свежего ФБР для поддержания условий предельного разбавления. Концентрацию выделившегося ЛВ рассчитывали с использованием калибровочной кривой ($R^2=0.99$) и рассчитывали степень высвобождения (СВ) ЛВ по формуле (1):

$$СВ\% = \frac{m_a + m_b + m_{a+b}}{m_{ЛВ}} * 100\% \quad (1),$$

где $m_{ЛВ}$ - это количество проклоперазина дималеата в таблетке, m_a - это количество проклоперазина дималеата в 1 мл пробы в первые 5 минут, m_{a+b} - это количество проклоперазина дималеата в 1 мл пробы в следующие 5 минут, m_b - это количество проклоперазина дималеата в 2 мл пробы в момент времени точки b (10 минут).

3. Результаты и обсуждение

В настоящей работе была проведена химическая модификация ПГЭМА с 3-МПТС в присутствии HCl и NaOH в качестве катализаторов с целью улучшить мукоадгезивные свойства полимера. На рис. 2 изображена структура модифицированного ПГЭМА. Гидроксильные группы ПГЭМА вступают в реакцию конденсации с метоксисилановыми группами 3-МПТС, в присутствии кислотных и основных катализаторов, в результате чего образуются Si-O-CH₂ связи между силоксановыми группами органосилоксана и OH группами полимера. Также, возможно протекание побочной реакции между группами МПТС с образованием Si-O-Si связи.

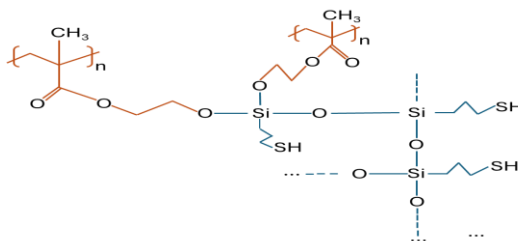


Рисунок 2 - Предполагаемая структура модифицированного ПГЭМА

Таблица 1 - Результаты Раман-спектроскопии и метода Элмана для модифицированных образцов ПГЭМА-МПТС.

Модифицированные образцы	Результаты РАМАН-спектроскопии	Количество SH групп, $\mu\text{моль/мг}$
ПГЭМА-МПТС_HCl	2569 см^{-1} – колебания SH-групп 652 см^{-1} и 653 см^{-1} – колебания C-S-групп	149 \pm 15
ПГЭМА-МПТС_NaOH	476 см^{-1} – колебания Si-O-Si связи	55 \pm 7

Полученный модифицированный полимер ранее был охарактеризован методами Раман-спектроскопии и методом Элмана. В табл. 1 представлены полученные результаты, которые совпадают с данными работы [9]. Из таблицы видно, что модифицированный полимер, полученный в присутствии кислотного катализатора HCl содержит большее число тиольных групп. Возможно, при модификации ПГЭМА с 3-МПТС в щелочной среде вероятность протекания побочной реакции окисления SH-групп с образованием дисульфидных связей выше, что приводит к уменьшению количества тиольных групп в ПГЭМА-МПТС_NaOH.

Существует большое число различных дозировочных форм, для которых возможен различный механизм мукоадгезии или способов формирования мукоадгезивных связей [13]. В настоящей работе были изучены сухие дозировочные формы (таблетки), контактирующие с поверхностью тонкого слоя муцина свиной щеки. В качестве компонента системы доставки лекарств, ПГЭМА также может использоваться в форме заплаток в лечение кариеса зубов, вагинальных заболеваний или пленок в окулярных системах доставки лекарств. Таблетки ПГЭМА, ПГЭМА-МПТС_NaOH и ПГЭМА-МПТС_HCl, содержащие 3 % соли прохлорперазина демалеата в качестве модельного лекарства были изготовлены прямой компрессией порошковых смесей со стеаратом магния. Процедура компрессии производилась с использованием ручного таблеточного пресса Riva SA Minipress MII (Аргентина). Для сравнения свойств изучаемых таблеток в качестве стандартного медицинского продукта использовались букальные таблетки Букастем 3 мг. Основные характеристики таблеток приведены в Таблице 2.

Как правило, стандартные тесты, используемые для сравнения и описания мукоадгезивных свойств таблеток, такие как измерение степени отшелушивания, устойчивость к сжатию и растяжению [14], необходимы для отделения полимерных композиций от мукозы, измерения контактного угла и оценки физико-химических свойств полимеров. В настоящей работе для оценки мукоадгезивных свойств полимеров измерялась устойчивость таблеток к отрыву от поверхности исследуемого биоматериала.

Таблица 2 - Основные характеристики таблеток

Таблетки	Масса, мг	Диаметр, мм	Толщина, мм	Твердость, N
Букастем	60.45±0.83	5.55±0.02	2.35±0.01	15.8±4.8
ПГЭМА	81.99±0.39	6.15±0.06	3.17±0.07	10.5±3.2
ПГЭМА-МПТС_NaOH	76.94±3.34	6.07±0.03	2.94±0.11	34.3±5.4
ПГЭМА-МПТС_HCl	59.90±0.63	6.02±0.01	2.79±0.12	36.2±4.1

Результаты исследования показали, что присутствие тиольных групп в полимере значительно изменяет его мукоадгезивные свойства (Рисунок 3). При этом, образцы таблеток ПГЭМА-МПТС_HCl показали большую работу адгезии и максимальную силу отделения по сравнению с ПГЭМА-МПТС_NaOH, что, вероятно, обусловлено большим содержанием тиольных групп на их поверхности. Полученные результаты подтверждаются данными анализа Эллманса на содержание тиольных групп где показано, что ПГЭМА-МПТС_HCl содержит большее число SH групп по сравнению с ПГЭМА-МПТС_NaOH. Таблетки на основе ПГЭМА и Букастем показали более низкие значения силы отрыва и общей работы адгезии по сравнению с тиолированными образцами. Кроме того, все виды таблеток продемонстрировали более сильные мукоадгезивные свойства по сравнению с коммерческим медицинским продуктом Букастем. Такое поведение таблеток на основе тиолированных полимеров обусловлено тем, что тиольные группы полимера способны образовывать ковалентные дисульфидные связи с SH группами гликопротеина муцина в мукоадгезивном слое слизистых поверхностей. В результате наблюдается улучшение мукоадгезивных свойств тиолированного ПГЭМА [15].

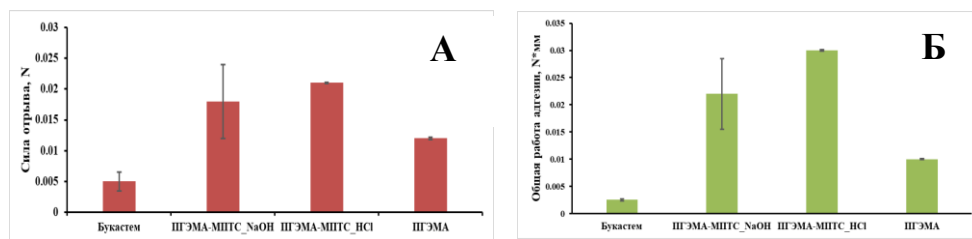


Рисунок 3 - Максимальная сила отрыва (А) и общая работа адгезии (Б) таблеток Букастем, ПГЭМА, ПГЭМА-МПТС_NaOH, ПГЭМА-МПТС_HCl от слизистой биоматериала. Каждый эксперимент выполнялся по меньшей мере с 3-4 таблетками и результаты представлены как их средняя величина ± стандартное отклонение

В результате исследования выделения лекарства из таблеток Букастем, ПГЭМА и тиолированных аналогов было установлено, что для таблеток на основе ПГЭМА-МПТС_НСІ и ПГЭМА-МПТС_NaOH в течение 25-30 минут выделяется 90-100 % прохлорперазина дималеата. Наименьшее количество выделившегося лекарственного вещества менее 40% наблюдается для таблеток Букастем, что, вероятно, обусловлено, более сложным компонентным составом данных таблеток.

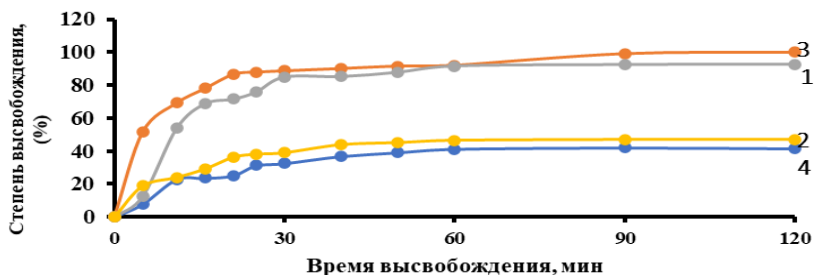


Рисунок 4 - Кинетика выделения прохлорперазина дималеата из таблеток ПГЭМА-МПТС_НСІ (1), ПГЭМА-МПТС_NaOH (2), ПГЭМА (3) и Букастем (4)

4. Заключение

В работе были синтезированы тиолированные неионные полимеры на основе ПГЭМА в присутствии катализаторов HCl и NaOH. Модификация осуществляется путем реакции конденсации между гидроксильной группой полимера и метоксисилановой группой 3-МПТС, в результате которой образуются Si-O-CH₂ связи. Raman-спектроскопия полученных полимеров показала наличие SH групп в их составе. Изучение мукоадгезивных свойств полученных полимеров ПГЭМА-МПТС с помощью механического анализа показал увеличение величины силы необходимой на их отделение от поверхности муцина и общей работы адгезии по сравнению с немодифицированным ПГЭМА и Букастем. Применение кислотного катализатора увеличивает содержание тиольных групп по сравнению с основным катализатором, вероятно, из-за протекания побочных реакций образования дисульфидных связей в присутствии последнего. Изучение высвобождения прохлорперазина дималеата из полученных таблеток показало высокую степень высвобождения в течение 25-30 минут для тиолированных таблеток на основе по сравнению с коммерческим Букастем.

Финансирование. Работа выполнена в рамках проекта ГФ МНВО РК AP19679560.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов между авторами, требующего раскрытия в данной статье.

ПОЛИГИДРОКСИЭТИЛМЕТАКРИЛАТ ЖӘНЕ 3-МЕРКАПТОПРОПИЛТРИМЕТОКСИСИЛАН НЕГІЗІНДЕГІ ТИОЛДАНҒАН ПОЛИМЕРЛЕРДІҢ СИНТЕЗІ МЕН МУКОАДГЕЗИВТІ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

*Г.С. Ирмухаметова¹, Д.Н. Махаева.*¹, Ж. Қожантаева¹, В.В. Хуторянский²*

¹әл -Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Рединг Университеті, Рединг, Ұлыбритания

*E-mail: Danelya.1993@gmail.com

Түйіндеме. *Кіріспе.* Шырышты қабықтарға жабыса алатын мукоадгезивті дәрілік формалар белсенді заттардың ұзақ уақыт бойы сақталуын және біркелкі босатылуын қамтамасыз етеді, бұл терапиялық әсерді жақсартады. Бұл пішіндерге жабысқақ патчтар, гелдер, таблеткалар, пленкалар, дискілер, нанобөлшектер және микросфералар жатады. Мукоадгезивті қасиеттерге не полимерлер гидрофильді болуы және сутектік байланыстарды қалыптастыру үшін жеткілікті функционалдық топтарды қамтуы керек. Поли(2-гидроксизтилметакрилат) (ПГЭМА) – әртүрлі биоматериалдарда кеңінен қолданылатын биосәйкестікке не гидрофильді полимер болып табылады. ПГЭМА -ны әртүрлі функционалдық топтармен модификациялау оның қолданылуын кеңейтеді. *Жұмыстың мақсаты* ПГЭМА-ны (20 кДа) 3-меркаптопропилтрисилоксанмен (3-МПТС) химиялық түрлендіру, дәрілік заттарды буккальды жеткізуде таблетка түрінде қолдану үшін модификацияланған полимердің мукоадгезиялық қасиеттерін зерттеу және сипаттау. *Жұмыстың әдістемесі* модификацияланған 3-МПТС-ПГЭМА синтезін, тиол топтарының құрамын анықтауды, буккальды таблеткаларын дайындауды және физика-химиялық сипаттамасын, таблеткалардың шырышты адгезиялық қасиеттерін сонымен қатар дәрілік заттардың шығарылуын зерттеуді қамтиды. *Нәтижелер* көрсеткендей, ПГЭМА және 3-МПТС негізіндегі тиолданған полимерлердің синтезі модификацияланбаған ПГЭМА-мен салыстырғанда жақсартылған мукоадгезиясы бар полимерлер алынған. Қышқылдық катализаторды қолдану полимердегі тиол топтарының мөлшерінің артуына ықпал етті. ПГЭМА-МПТС негізіндегі таблеткалар Букастемге қарағанда шырышты бетке жақсырақ мукоадгезия көрсетеді. ПГЭМА-МПТС негізіндегі таблеткалардан прохлорперазин дималеатын шығару 40 минут ішінде жүзеге асырылады, бұл Букастемнің коммерциялық аналогымен салыстырғанда айтарлықтай жоғары. *Қорытынды.* Алынған буккальды таблеткалар коммерциялық Букастем аналогымен салыстырғанда жоғары мукоадгезивті қасиеттерді және белсенді заттың ұзақ уақыт бойы босатылуын көрсетті.

Түйін сөздер: буккальды таблеткалар, тиолдау, мукоадгезивті қасиеттер, дәрінің босатылуы, Элман әдісі.

<i>Ирмухаметова Галия Серикбаевна</i>	<i>Химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор</i>
<i>Махаева Данэля Нурлановна</i>	<i>PhD, аға ғылыми қызметкер</i>
<i>Қожантаева Жансия</i>	<i>PhD студент</i>
<i>Хуторянский Виталий Викторович</i>	<i>PhD, профессор</i>

References

- Alqahtani M. S., Kazi M., Alsenaidy M. A., Ahmad M. Z. Advances in Oral Drug Delivery. *Front. Pharmacol.*, **2021**, 12. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.618411>
- Golshani S., Vatanara A., Amin M. Recent Advances in Oral Mucoadhesive Drug Delivery. *JPPS.*, **2022**, 25, 201–217. <https://doi.org/10.18433/jpps32705>
- Leal J., Smyth H. D. C., Ghosh D. Physicochemical properties of mucus and their impact on transmucosal drug delivery. *Int. J. Pharm.*, **2017**, 532(1), 555–572. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2017.09.018>
- Shipp L., Liu F., Kerai-Varsani L., Okwuosa T.C. Buccal films: A review of therapeutic opportunities, formulations & relevant evaluation approaches. *JCR.*, **2022**, 352, 1071–1092. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2022.10.058>

5. Sosnik A., das Neves J., Sarmento B. Mucoadhesive polymers in the design of nano-drug delivery systems for administration by non-parenteral routes: A review. *Prog. Polym. Sci.*, **2014**, 39(12), 2030–2075. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2014.07.010>
6. Saini R., Bajpai J., Bajpai A.K. Synthesis of Poly (2-Hydroxyethyl Methacrylate) (PHEMA) Based Nanoparticles for Biomedical and Pharmaceutical Applications. In: Soloviev, M. (eds) Nanoparticles in Biology and Medicine. *Methods in Molecular Biology.*, **2012**, vol 906. Humana Press, Totowa, NJ. https://doi.org/10.1007/978-1-61779-953-2_26
7. De Ascentiis A., deGrazia J.L., Bowman C.N., Colombo P., Peppas N.A. Mucoadhesion of poly(2-hydroxyethyl methacrylate) is improved when linear poly(ethylene oxide) chains are added to the polymer network. *JCR.*, **1995**, 33(1), 197–201. [https://doi.org/10.1016/0168-3659\(94\)00087-B](https://doi.org/10.1016/0168-3659(94)00087-B)
8. Liu L., Rambarran T., Sheardown H. Phenylboronic acid modified hydrogel materials and their potential for use in contact lens based drug delivery. *J. Biomater. Sci. Polym. Ed.*, **2022**, 33(15), 1924–1938. <https://doi.org/10.1080/09205063.2022.2088531>
9. Irmukhametova G., Khutoryanskiy V., Mun G. Synthesis and characterization of thiolated polymers based on polyhydroxyethylakrylate and 3-mercaptopropylmethoxysilane. *Chem. Bull. Kaz. Nat.*, **2012**, 0(1), 261. https://doi.org/10.15328/chemb_2012_1261-266
10. Mariano N.A., Oliveira R.G., Fernandes M.A., Rigo E.C.S. Corrosion behavior of pure titanium in artificial saliva solution. *Matéria (Rio J.)*, **2009**, 14(2), 878–880. <https://doi.org/10.1590/S1517-70762009000200010>
11. Irmukhametova G.S., Mun G.A., Khutoryanskiy V.V. Thiolated Mucoadhesive and PEGylated Nonmucoadhesive Organosilica Nanoparticles from 3-Mercaptopropyltrimethoxysilane. *Langmuir.*, **2011**, 27(15), 9551–9556. <https://doi.org/10.1021/la201385h>
12. Sogias I.A., Williams A.C., Khutoryanskiy V.V. Chitosan-based mucoadhesive tablets for oral delivery of ibuprofen. *Int. J. Pharm.*, **2012**, 436(1–2), 602–610. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2012.07.007>
13. Ways T.M., Lau W.M., Khutoryanskiy V.V. Chitosan and Its Derivatives for Application in Mucoadhesive Drug Delivery Systems. *Polymers.*, **2018**, 10, 267. <https://doi.org/10.3390/polym10030267>
14. Li K.L., Castillo A.L. Formulation and evaluation of a mucoadhesive buccal tablet of mefenamic acid. *Braz. J. Pharm. Sci.*, **2020**, 56. <https://doi.org/10.1590/s2175-97902019000418575>
- J. Iqbal., G. Shahnaz., S. Dünhaupt., C. Müller., F. Hintzen., A. Bernkop-Schnürch. Preactivated thiomers as mucoadhesive polymers for drug delivery. *Biomaterials.*, **2012**, 1528–1535. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2011.10.021>

INFLUENCE OF THE EFFECT OF REMOTE INTERACTION OF THE INTERPOLYMER SYSTEM KU-2-8:AV-17-8

T.K. Jumadilov^{1,2}, G.T. Dyussebayeva^{1,2*}, Zh.S. Mukatayeva²
J.V. Gražulevičius³

¹A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences JSC, Almaty, Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

³Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania

*E-mail: g_gazinovna@mail.ru

Abstract. *Introduction.* Electrochemical properties of mutual activation of polymers as a result of remote interaction of interpolymer system KU-2-8:AV-17-8 have been studied. Interpolymer systems consisting of polymers cationite: anionite KU-2-8 and AV-17-8 were chosen as objects of study. As a result of remote interaction, mutual activation of ion-exchangers occurs, as a result of which polymers pass to the state of high ionization, significantly changing the electrochemical properties of solutions, such as conductivity and pH. *The purpose* of the study is to investigate the features of mutual activation of interpolymer systems KU-2-8:AV-17-8. *The obtained results* as the value of specific conductivity of aqueous medium in 5:1 ratio gradually increased after 24 hours. It was noted that the pH value of the medium in this ratio gradually decreases, and the swelling coefficient of the anionite AV-17-8 increased to a maximum value of 3.86 after 1 hour at a ratio of 5:1 in the presence of the cationite KU-2-8. In the ratios of the interpolymer systems KU-2-8: AV-17-8 4:2, the specific electrical conductivity of the aqueous medium after 6 hours reaches a maximum value of 7.0, and the pH indicator decreases compared to the initial value. The value of electrical conductivity gradually increases in the ratios 2:4 and 1:5 in different time intervals. At 2.5 hours of the study, it can be observed that the pH of the medium decreased from a maximum value of 7.45 to a minimum value of 4.85 at ratios of 3:3 and 2:4. The swelling ratio at 2:4 ratio increased after 2.5 hours and decreased after 6 hours. *Conclusion.* As a result of remote interaction, changes in electrochemical properties of polymers of cationite KU-2-8 and anionite AV-17-8 are observed in all molar ratios. Remote interaction has a special influence on the electrochemical properties of the environment. The experimental results obtained show that changing the initial state of one component changes the electrochemical behavior of ionites and interpolymer systems.

Keywords: interpolymer system, KY-2-8, AV-17-8, remote interaction, mutual activation, specific conductivity, pH value.

<i>Jumadilov Talkybek Kozhatayevich</i>	<i>Doctor of Chemical Sciences, Professor; E-mail: jumadilov@mail.ru</i>
<i>Dyussebayeva Gulnur Toktagazinovna</i>	<i>PhD student; E-mail: g_gazinovna@mail.ru</i>
<i>Mukatayeva Zhazira Sagatbekovna</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences, associated Professor; E-mail: jazira-1974@mail.ru</i>
<i>Gražulevičius Juozas Vidas</i>	<i>Full professor; E-mail: juozas.grazulevicius@ktu.lt</i>

Citation: Jumadilov T.K., Dyussebaeva G.T., Mukataeva Zh.S., Gražulevičius J.V. Influence of the effect of remote interaction of the interpolymer system KU-2-8:AV-17-8. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 4(88), 25-34. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.45>

КУ-2-8:АВ-17-8 ИНТЕРПОЛИМЕРЛІК ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ӨЗАРА ҚАШЫҚТЫҚТАН ӨРЕКЕТТЕСУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ*Т.К.Джумадилов^{1,2}, Г.Т.Дюсембаева^{1,2*}, Ж.С. Мукатаева², Ю.В.Гражулявичюс³*¹«Ә.Б.Бектұров атындағы химия ғылымдары институты»АҚ, Алматы, Қазақстан²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан³Каунас технологиялық университеті, Каунас, Литва*E-mail: g_gazinova@mail.ru

Түйіндеме. *Kіріспе.* КУ-2-8:АВ-17-8 интерполимерлік жүйелерінің өрекеттесуі нәтижесінде полимерлердің өзара активтенуінің электрохимиялық қасиеттері зерттелген. Зерттеу нысандарына КУ-2-8 және АВ-17-8 катионит:анионит полимерлерінен тұратын интерполимерлі жүйелер таңдалған. Қашықтықтан өзара әсер ету нәтижесінде ион алмастырғыштардың активтенуі байқалады, нәтижесінде полимер жоғары иондану күйіне түседі, бұл ерітіндінің меншікті электрөткізгіштігінің және рН ортасының электрохимиялық қасиеттерін айтарлықтай өзгертеді. *Жұмыстың мақсаты.* КУ-2-8:АВ-17-8 интерполимерлік жүйелерінің өзара активтелу ерекшеліктерін зерттеу болып табылады. *Алынған нәтижелер.* Ұзақ мерзімді өрекеттесудің нәтижесінде 5:1 қатынасында сулы ортаның меншікті электрөткізгіштігінің мәні бір тәуліктен соң біртіндеп жоғарлаған. Дәл осы қатынаста ортаның рН мәні біртіндеп төмендегені байқалады. Қашықтықтан өзара өрекеттесу нәтижесінде 5:1 қатынасында 1 сағаттан соң катионит КУ-2-8 қатынасында анионит АВ-17-8 ең жоғары ісіну дәрежесі 3.86 максимум мәніне дейін көтерілген. КУ-2-8:АВ-17-8 интерполимерлі жүйелердің 4:2 қатынастарында сулы ортаның меншікті электрөткізгіштігі 6 сағаттан соң 7.0 максимум мәнге жетті, ал рН көрсеткіші бастапқы мәнмен салыстырғанда төмендеген. Ісіну коэффициентінің әсіресе күрт төмендеуі 6 сағаттан кейін 4:2 қатынасында байқалады, мұнда ісіну дәрежесі 24 сағаттан кейін 0.25-ке жуық төмендейді. Электрөткізгіштігінің мәні әртүрлі уақыт аралықтарында 2:4 және 1:5 қатынастарында уақытқа байланысты жоғарлаған. Сулы ортаның рН мәні зерттеудің 2.5 сағатында 3:3 және 2:4 қатынастарында 7.45 максимум мәнінен 4.85 минимум мәнге дейін түскенін байқай аламыз. Ісіну коэффициентінің айтарлықтай ауытқуы 2:4 қатынасында байқалады, себебі 2.5 сағатта көтеріліп, 6 сағатқа жеткенде төмендеген. *Қорытынды.* Қашықтықтан өзара өрекеттесу нәтижесінде катионит КУ-2-8 және анионит АВ-17-8 полимерлерін зерттеу барысында электрохимиялық қасиеттерінің өзгерістері барлық мольдік қатынастарында байқалады. Қашықтықтан өзара өрекеттесу ортаның электрохимиялық қасиеттеріне айрықша әсер етеді. Алынған тәжірибие нәтижелері бір компоненттің бастапқы күйінің өзгеруі ион алмастырғыштар мен интерполимерлі жүйелердің электрохимиялық өрекетін өзгертетінін көрсетеді.

Түйін сөздер: интерполимерлі жүйе, КУ-2-8, АВ-17-8, қашықтықтан өзара өрекеттесу, меншікті электрөткізгіштік, рН көрсеткіші, өзара активтену.

<i>Джумадилов Талқыбек Қожатаевич</i>	<i>Химия ғылымдарының докторы, профессор</i>
<i>Дюсембаева ГульнурТоктаргазиновна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Мукатаева Жазира Сағатбековна</i>	<i>Химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор</i>
<i>Гражулявичюс Юозас Видас</i>	<i>Профессор</i>

1. Кіріспе

Қазіргі уақытта ион алмастырғыштардың түрлері көп кездеседі және нарықта қол жетімді [1]. Ион алмастырғыш шайырлар– құрамында қышқылдық немесе негізгі функционалдық топтары бар және ерітінділердегі қарсы иондары қайтымды алмасуға қабілетті үш өлшемді макрокеуекті құрлымы бар ерімейтін полимерлер [2]. Интерполимерлі жүйе– бұл екі немесе одан да көп әртүрлі полимерлерді біріктіру арқылы жасалған материалдар. Зерттеу жұмысының объектілеріне катион алмастырғыш

ретінде КУ-2-8 ион алмастырғыш шайыры, ал анион алмастырғыш ретінде АВ-17-8 таңдалды [3].

КУ-2-8- катионит күшті қышқылдық көп функционалды қасиеттерге ие. Катионит қаңқасы болып келетін макромолекулалы қозғалмайтын R^+ анионына және ісінгенде қозғалғыш H^+ ыдырайды [4].

АВ-17-8- анионит күшті негізді гель құрлымы бар ион алмастырғыш. АВ-17-8 анионитін суды минералсыздандыруда және жұмсарту технологияларында қолданады. Органикалық еріткіштерде және суда ерімейді, қышқылдарда және сілтілерде жақсы осмостық тұрақтылығымен және химиялық төзімділігімен ерекшеленеді [5-7].

2. Тәжірбиелік бөлім

Зерттеуге қажетті құрал-жабдықтар: Сулы ортаның меншікті электрөткізгіштігін өлшеу үшін «МАРК 603» (Ресей), кондуктометр мен рН өлшеуге “Seven Easy” (METTLER TOLEDO, Қытай) рН-метрі қолданылды.

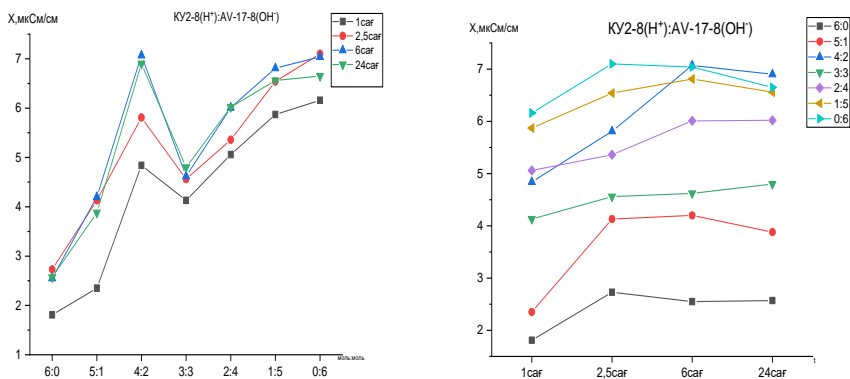
Ісіну коэффициентін анықтау үшін, ісінуге дейінгі және ісінгеннен кейінгі салмағын өлшеп берілген формулаға салдық.

Зерттеу нысандары: Зерттеу дистилденген су ортасында және бөлме температурасында жүргізілді. Жұмысқа функционалды топтары қышқылдық және негіздік КУ2-8:АВ-17-8 өндірістік иониттері қолданылды. Осы иониттердің негізінде КУ2-8:АВ-17-8 интерполимерлі жұптар құрылды. Интерполимерлі жүйелердің электрохимиялық қасиеттерін зерттеу үшін әрбір құрғақ ион алмастырғыш массасы өлшеніп жеке полипропилен торларына орналастырылды.

3. Нәтижелер және талқылаулар

3.1. Су ортасындағы интерполимерлік жүйелердің электрохимиялық қасиеттері. Алдыңғы зерттеу жұмыстарының нәтижесі түрлі функционалды топтары бар интерполимерлі жүйелерінің өзара активтелуі олардың электрохимиялық қасиеттерінің өзгеріске ұшырайтынын көрсетті [8-10]. КУ-2-8:АВ-17-8 интерполимерлі жүйелерінің электрөткізгіштігінің уақытқа және полимерлердің мольдік қатынастарына байланысты өзгеруі 1-ші суретте көрсетілген. Интерполимерлі жүйенің 6:0 қатынасында барлық уақытта дерлік полимер бөлшектерінің өлшемдерінде ондай қатты өзгерістер байқалмаған, себебі ертіндіде полимерлердің біреуі ғана болса, ертіндіде жаңа иондардың түзілуі болмаған деп түсіндіруге болады. Ал рН көрсеткіші 6:0 қатынасында 1 сағаттан соң 7.9 максимумға жетіп, кейін рН мәнінің көрсеткіші 6 сағатта 5.95 түскен. Дәл осы қатынасында катионит КУ-2-8 ісіну дәрежесі әртүрлі уақыт аралықтарында (1; 2.5; 6 және 24 сағат) тұрақты мәнге ие болады. Суреттен минималды электрөткізгіштіктің мәні 1 сағаттан кейін шамамен 1.83-ке дейін төмендегені байқалады. Қашықтықтан өзара әрекеттесу ортаның электрохимиялық қасиеттеріне айрықша әсер етеді. Ұзақ мерзімді әрекеттесудің нәтижесінде 5:1 қатынасында сулы

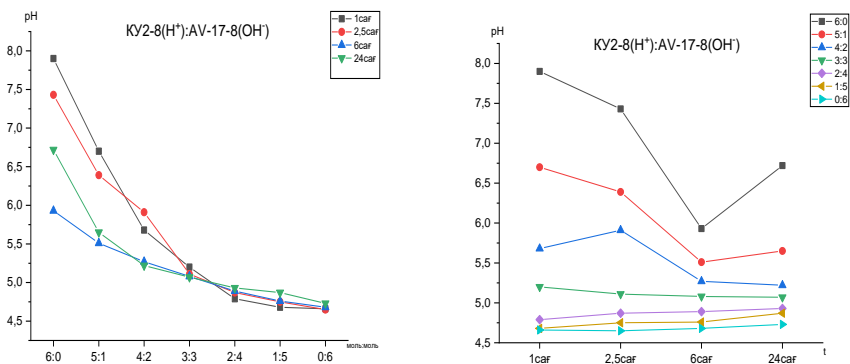
ортаның меншікті электрөткізгіштігінің мәні бір тәуліктен соң біртіндеп жоғарлағанын көруге болады.



Сурет 1- КУ-2-8:АВ-17-8 интерполимерлі жүйесінің электрөткізгіштігінің мольдік қатынастарына және уақытқа тәуелділігі

5:1 қатынасында барлық уақыт аралықтарында рН мәнінің бастапқы деңгейден біртіндеп төмендегені көрінеді, соның нәтижесінде 24 сағаттан кейін салыстырмалы түрде төмен мәнге жетеді. Бұл деректер КУ-2-8:АВ-17-8 интерполимерлі жүйелерінің арасындағы өзара әрекеттесу олардың қатынасы мен әрекеттесу уақытына байланысты ортаның иондық белсенділігі мен рН мәнінің өзгеруіне әкелетінін көрсетуі мүмкін. КУ-2-8:АВ-17-8 интерполимерлі жүйелердің 4:2 қатынасында 6 сағаттан кейін сулы ортаның меншікті электрөткізгіштіктің мәні 7.0 максимум мәнге жетті, оның себебін полимерлердің қашықтан өзара әсер етуі салдарынан, қосымша ОН-иондары пайда болады деп түсінеміз. Зерттеулердің нәтижесінде ортаның электрөткізгіштігі 3:3 қатынасында 24 сағаттан соң, лезде түседі. Бұл карбоксил топтарының диссоциациялануын тежейтін және гидрогель иондарының еркін қозғалысына кедергі келтіретін кешендердің пайда болуымен түсіндіріледі. Жүйелердің әртүрлі уақыт аралықтарында 2:4, 1:5 қатынастарында электрөткізгіштіктің мәні уақытқа сай біртіндеп өскенін байқаймыз. Суреттегі мәліметтерге сүйенсек, зерттеудің барлық уақыттарында электрөткізгіштіктің мәні 0:6 қатынасында жоғарғы мәнге жеткен. Электрөткізгіштің жоғарғы көрсеткіштері, интерполимерлі жүйедегі сулы ортадағы H^+ иондарының барын білдіреді. Интерполимерлі жүйедегі полимерлердің өзара әсер етуінің нәтижесінде электрөткізгіштік артқан.

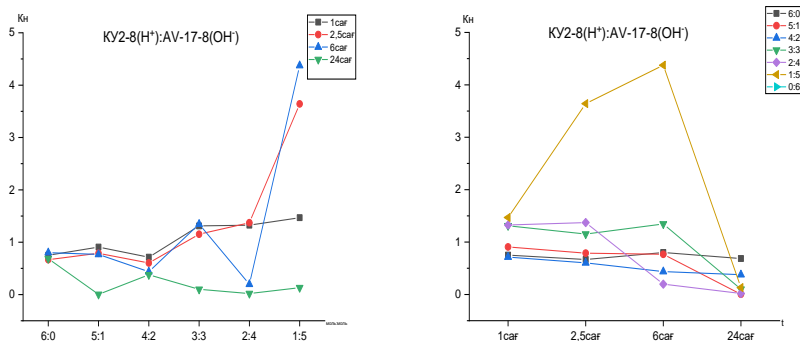
3.2 Су ортасындағы интерполимерлік жүйелердің рН зерттеулерінің сипаттамалары. КУ-2-8:АВ-17-8 интерполимерлі жүйесінің рН көрсеткіштерінің мольдік қатынастарына және уақытқа қатысты өзгеруінің сызбасы 2-суретте бейнеленген.



Сурет 2- КУ-2-8:АВ-17-8 интерполимерлі жүйесінің рН көрсеткіштерінің сулы ортадағы уақытқа тәуелділігі

Бұл суретте үлкен өзгерістер КУ2-8: АВ-17-8 интерполимерлі жүйесінің 6:0 қатынасында кездеседі. Уақыт өте келе қоршаған ортаның рН көрсеткіштердің төмендеуі байқалды, бұл рН көрсеткіші төмен мәнді көрсеткен кезде, H^+ немесе H_3O гидроксоний иондарының концентрациясының жоғарылауын көрсетеді. Сутегі иондарының концентрациясының төмендеуін көрсететін рН-мәнінің бастапқыда жоғарлауы, ең алдымен, протонның жоғалуынан пайда болған буынаралық ассоциациялардың бұзылып, ион алмастырғыштардың түйінаралық буындарының конформациялық трансформацияға ұшырауына байланысты болуы мүмкін. Ассоциациялар жойылған кезде H^+ иондары қайтадан ион алмастырғыштардың H^+ иондарымен ассоциация түзеді. Алынған нәтижелерден зерттеудің 2.5 сағатында рН ортаның нүктесі 5:1 және 4:2 қатынастарында бастапқыда біршама жоғарлап, уақыт өте түскені көрінеді. 3:3 және 2:4 қатынастарында зерттеудің 2.5 сағатында рН мәні 7.45 максимум мәнінен 4.85-ке дейін түскені байқалады, бұл көрсеткіштер молекулаішілік ассоциаттардың таралуымен түсіндіріледі. Суреттен, өзара әрекеттесу уақытының 1:5 және 0:6 қатынастарында 1 сағаттан 24 сағатқа дейін айтарлықтай өзгерістер байқалмаған, рН мәні жайлап төмендеген.

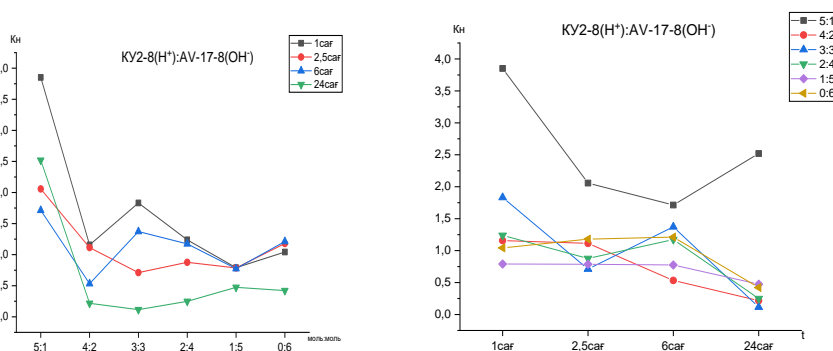
3.3 Су ортасындағы интерполимерлік жүйелердің конформациялық зерттеулерінің өзгерістері көрсетілген. Анионит АВ-17-8 қатысында КУ-2-8 ісіну дәрежесінің сулы ортадағы полимерлердің мольдік қатынастарына және уақытқа тәуелділігінің өзгерісі 3-ші суретте келтірілген.



Сурет 3 - Анионит АВ-17-8 қатысында КУ-2-8 ісіну дәрежесінің полимерлердің мольдік қатынастарына және уақытқа тәуелділігі

Егер ерітіндіде тек КУ-2-8 (катион алмастырғыш) тек 1-полимер болғанда суды сіңіру қабілеті шектеулі болады, яғни ісіну коэффициенті барлық уақыт аралықтарында салыстырмалы түрде тұрақты және төмен болады. 1 тәуліктен соң 5:1 қатынасында ісіну коэффициентінің күрт төмендеуі байқалады, себебі полимер құрлымының жиырылуының нәтижесінен болуы мүмкін. 3:3 қатынасында 6 сағаттан соң полимерлі торлардың ісіну дәрежесі жоғарылаған, бірақ дәл осы уақыт аралықта 2:4 қатынасында ісінуі төмен мәнді көрсеткен, бұл полимер арасындағы бәсекелестікті көрсетеді. Полимерлердің бір-бірімен қашықтықтан өзара әрекеттесуі олардың торап аралық байланыстарудың конформациялы өзгеруіне әкеледі. Соның нәтижесінде олар қосымша ісінуге ұшырайды. Зерттеудің 2.5 және 6-сағатында, полимерлердің 1:5 қатынасында ісіну коэффициентінің лезде өскен. Яғни, бұл мәліметтер функционалды топтардың диссоциациялануы кезінде пайда болған иондану дәрежесімен анықталады. КУ-2-8 (катион алмастырғыштың) ісіну коэффициенті бір тәулікке жеткен соң төмен мәнді көрсеткен.

Әртүрлі мольдік қатынастарында АВ-17-8 (анион алмастырғыштың) ісіну коэффициентінің сызбасы 4-суретте бейнеленген. Негіздік анионит АВ-17-8 қашықтықтан өзара әрекеттесу нәтижесінде 5:1 қатынасында 1 сағаттан соң ең жоғары ісіну коэффициенті 3.86 максимум мәніне дейін көтерілген. Бұл карбоксил топтарының диссоциациялану дәрежесінің өте төмен болуына және ерітіндідегі катиондардың жоғары концентрациясының сақталуына байланысты. Зерттеудің барлық арақатынастарында ісіну дәрежесі көтеріліп, бірнеше уақыттан соң біртіндеп төмендеген. Себебі, полимерлердің алғашқы да ісінгені байқалады, кейін белгілі уақытқа жеткенде суды бөлетін полимер құрылымы қаныққанын көреміз, ол кезде ісіну дәрежесі тоқтайды. Суреттен 3:3 қатынасында 6 сағаттан кейін жоғары ісіну коэффициенті байқалады, бірақ кейін 2:4 қатынасында біртіндеп төмендегенін көреміз.



Сурет 4 - Катионит КУ-2-8 қатысында АВ-17-8 ісіну дәрежесінің уақытқа және мольдік қатынастарына тәуелділігі

Тәжірибе уақыты басталғаннан кейін ісіну коэффициенті (K_i) 6 сағаттан кейін 4:2 қатынасында түскен, мұнда коэффициент 24 сағаттан кейін 0,25-ке жуық төмендейді. Себебі OH^- иондарының көп мөлшері ісірудің және COOH топтарының төмен концентрациясымен, сондай-ақ негізгі функционалды топтардың H^+ иондарының жоғары ісіну жылдамдығымен әрекеттесуімен байланысты. Жүйедегі АВ-17-8 (анион алмастырғыш) көлемінің минимумдық көрсеткіші, зерттеудің 24 сағатында ортаның 2:4; 3:3 сонымен қатар 1:5 қатынастарында көрінген. Бұл аймақта ісірудің төмендеуі молекулаішілік $\geq \text{NH}^+ \dots \text{N} \leq$ байланыс формаларының түзілуімен немесе молекулаішілік оссоциаттардың құруымен байланысты болады. 0:6 қатынасы үшін ісіну коэффициенті салыстырмалы түрде ондай қатты өзгеріске ұшырамаған, бұл КУ-2-8 (катионит алмастырғыш) болмаған кезде АВ-17-8 (анион алмастырғыштың) тұрақты қасиеттерін көрсетуі мүмкін.

4. Қорытынды

Қашықтықтан әрекеттесу кезінде КУ-2-8:АВ-17-8 интерполимерлі жүйесінің өзара активтенуінің өзгерісі анықталып, олардың электрохимиялық қасиеттері зерттелді. Жүргізілген зерттеулер мен талдаулардың нәтижелері, полимерлердің бір-бірімен қашықтықтан әсер ету негізінде электрөткізгіштік көрсеткіштері мен рН-ы әр түрлі уақытта өзгертіндігін көрсетті. Осылайша алынған нәтижелер, қарама-қарсы зарядталған иондардың түзілуі және сулы ортадағы интерполимерлі жүйелердің электрохимиялық параметрлерінің өзгеруінің салдары, полимерлер арасындағы қашықтықтан әрекеттесу әсерінің бар екендігін көрсетті. Күшті электролиттердің электрөткізгіштігінің мәні уақыт өткен сайын артады, себебі макромолекулалар тізбегінде орналасқан ионизацияға және диссоциацияға ұшырайтын топтардың қатынасы айтарлықтай өзгерістерге ұшырайтындығын көрсетеді. Алынған тәжірибе нәтижелері бір компоненттің бастапқы күйінің өзгеруі ион алмастырғыштар мен интерполимерлі жүйелердің электрохимиялық әрекетін өзгертетінін көрсетеді.

Қаржыландыру: Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің гранттық қаржыландыру бойынша No.IPH BR21882220 жобасымен қаржыландырылды.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар бұл мақалада өзара мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА ДИСТАНЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНТЕРПОЛИМЕРНОЙ СИСТЕМЫ КУ-2-8:АВ-17-8

Т.К. Джумадилов^{1,2}, Г.Т. Дюсембаева^{1,2}, Ж.С. Мукатаева², Ю.В. Гражулявичюс³*

¹АО «Институт химических наук имени А.Б. Бектурова», Алматы, Казахстан

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

³Каунасский технологический университет, Каунас, Литва

*E-mail: g_gazinovna@mail.ru

Резюме. *Введение.* Изучены электрохимические свойства взаимной активации полимеров в результате дистанционного взаимодействия интерполимерной системы КУ-2-8:АВ-17-8. В качестве объектов исследования были выбраны интерполимерные системы, состоящая из полимеров катионит: анионит КУ-2-8 и АВ-17-8. В результате дистанционного взаимодействия происходит взаимная активация ионообменников, в результате чего полимеры переходят в состояние высокой ионизации, существенно изменяя электрохимические свойства растворов, такие как электропроводность и рН. *Цель работы* – целью исследования является изучение особенностей взаимной активации интерполимерных систем КУ-2-8:АВ-17-8. *Полученные результаты.* Значение удельной электропроводности водной среды в соотношении 5:1 через сутки постепенно снижается, а коэффициент набухания анионита АВ-17-8 увеличился до максимального значения 3.86 через 1 час при соотношении 5:1 в присутствии катионита КУ-2-8. В соотношениях интерполимерных систем КУ-2-8: АВ-17-8 4:2 удельная электропроводность водной среды через 6 часов достигает 7.0 максимального значения, а показатель рН снижается по сравнению с исходным значением. Величина электропроводности постепенно увеличивается в соотношениях 2:4 и 1:5 в разные промежутки времени. На 2,5 часе исследования можно заметить, что рН среды снизился от максимального значения 7.45 до минимального значения 4.85 в соотношениях 3:3 и 2:4. Коэффициента набухания при соотношении 2:4 повышается через 2.5 часа и снижается через 6 часов. *Вывод.* В результате дистанционного взаимодействия изменения электрохимических свойств полимеров катионита КУ-2-8 и анионита АВ-17-8 наблюдаются во всех мольных соотношениях. Дистанционное взаимодействие оказывает особое влияние на электрохимические свойства среды. Полученные экспериментальные результаты показывают, что изменение исходного состояния одного компонента меняет электрохимическое поведение ионитов и интерполимерных систем.

Ключевые слова: интерполимерная система, КУ-2-8, АВ-17-8, эффект дальнего действия, взаимная активация, удельная электропроводность, показатель рН.

Джумадилов Талқыбек Қожатаевич

Доктор химических наук, профессор

Дюсембаева ГүлнурТоктаргазиновна

PhD докторант

Мукатаева Жазира Сағатбековна

Кандидат химических наук, ассоц. профессор

Гражулявичюс Юозас Видас

Профессор

Әдебиеттер тізімі

1. Krishnan S., Zulkapli N.S., Kamyab H., Mat Taib S.M., Fadhil Bin Md Din M., Abd Majid Z., Chairapat S., Kenzo I., Ichikawa Y., Nasrullah M., Chelliapan S., Othman N. Current technologies for recovery of metals from industrial wastes: An overview, *Environ Technol Inno.*, **2021**, 22, 101525. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101525>

2. Jörissen J. Ion exchange membranes as solid polymer electrolytes (spe) in electro-organic syntheses without supporting electrolytes. *Electrochim. Acta.*, **1996**, 41(4), 553-562. [https://doi.org/10.1016/0013-4686\(95\)00342-8](https://doi.org/10.1016/0013-4686(95)00342-8)
3. Qadeer R., Hanif J., Khan M., Saleem M. Uptake of Uranium Ions by Molecular Sieve. *Radiochim. Acta.*, **1995**, 68(3), № 3, 197-202. <https://doi.org/10.1524/ract.1995.68.3.197>
4. Kurian M. Cerium oxide-based materials for water treatment - a review. *J. Environ. Chem. Eng.*, **2020**, 8(5), 104439. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104439>
5. Petrov G., Zotova I., Nikitina T., Fokina S. Sorption recovery of platinum metals from production solutions of sulfate-chloride leaching of chromite wastes. *Metals.*, **2021**, 11, 569. <https://doi.org/10.3390/met11040569>
6. Jumadilov T., Khimersen K., Malimbayeva Z., Kondaurov R. Effective Sorption of Europium Ions by Interpolymer System Based on Industrial Ion-Exchanger Resins Amberlite IR120 and AB-17-8. *Materials.*, **2021**, 14(14), 3837. <https://doi.org/10.3390/ma14143837>
7. Altshuler H.N., Ostapova E.V., Malysenko N.V., Altshuler O.H. Sorption of nicotinic and isonicotinic acids by the strongly basic anion exchanger AB-17-8. *Russian Chem. Bul.*, **2017**, 66, 1854-1859. <https://doi.org/10.1007/s11172-017-1957-7>
8. Jumadilov T. K., Imangazy A.M., Khimersen Kh., Haponiuk J.T. Remote interaction effect of industrial ion exchangers on the electrochemical and sorption equilibrium in scandium sulfate solution. *Polymer Bulletin.*, **2023**, 81, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s00289-023-04800-x>
9. Utesheva A.A., Jumadilov T.K., Grazulevicius J.V. Self-organization of interpolymer systems with high sorption activity to uranyl ions. *Engineering Journal of Satbayev University.*, **2022**, 144(2), 22-27. <https://doi.org/10.51301/ejsu.2022.i2.04>
10. Jumadilov T.K., Totkhuskyzy B., Malimbayeva Z., Kondaurov R., Imangazy A.M., Khimersen K., Grazulevicius J.V. Impact of Neodymium and Scandium Ionic Radii on Sorption Dynamics of Amberlite IR120 and AB-17-8 Remote Interaction. *Materials.*, **2021**, 14, 5402. <https://doi.org/10.3390/ma141854022>
11. Jumadilov T. K., Khimersen Kh., Haponiuk, J.T., Totkhuskyzy B. Enhanced Lutetium Ion Sorption from Aqueous Solutions Using Activated Ion Exchangers. *Polymers.*, **2024**, 16, 220. <https://doi.org/10.3390/polym16020220>

References

1. Krishnan S., Zulkapli N.S., Kamyab H., Mat Taib S.M., Fadhil Bin Md Din M., Abd Majid Z., Chaiprapat S., Kenzo I., Ichikawa Y., Nasrullah M., Chelliapan S., Othman N. Current technologies for recovery of metals from industrial wastes: An overview, *Environ Technol Inno.*, **2021**, 22, 101525. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101525>
2. Jörissen J. Ion exchange membranes as solid polymer electrolytes (spe) in electro-organic syntheses without supporting electrolytes. *Electrochim. Acta.*, **1996**, 41(4), 553-562. [https://doi.org/10.1016/0013-4686\(95\)00342-8](https://doi.org/10.1016/0013-4686(95)00342-8)
3. Qadeer R., Hanif J., Khan M., Saleem M. Uptake of Uranium Ions by Molecular Sieve. *Radiochim. Acta.*, **1995**, 68(3), № 3, 197-202. <https://doi.org/10.1524/ract.1995.68.3.197>
4. Kurian M. Cerium oxide-based materials for water treatment - a review. *J. Environ. Chem. Eng.*, **2020**, 8(5), 104439. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104439>
5. Petrov G., Zotova I., Nikitina T., Fokina S. Sorption recovery of platinum metals from production solutions of sulfate-chloride leaching of chromite wastes. *Metals.*, **2021**, 11, 569. <https://doi.org/10.3390/met11040569>
6. Jumadilov T., Khimersen K., Malimbayeva Z., Kondaurov R. Effective Sorption of Europium Ions by Interpolymer System Based on Industrial Ion-Exchanger Resins Amberlite IR120 and AB-17-8. *Materials.*, **2021**, 14(14), 3837. <https://doi.org/10.3390/ma14143837>
7. Altshuler H.N., Ostapova E.V., Malysenko N.V., Altshuler O.H. Sorption of nicotinic and isonicotinic acids by the strongly basic anion exchanger AB-17-8. *Russian Chem. Bul.*, **2017**, 66, 1854-1859. <https://doi.org/10.1007/s11172-017-1957-7>

8. Jumadilov T. K., Imangazy A.M., Khimersen Kh., Haponiuk J.T. Remote interaction effect of industrial ion exchangers on the electrochemical and sorption equilibrium in scandium sulfate solution. *Polymer Bulletin.*, **2023**, 81. 1-19. <https://doi.org/10.1007/s00289-023-04800-x>

9. Utesheva A.A., Jumadilov T.K., Grazulevicius J.V. Self-organization of interpolymer systems with high sorption activity to uranyl ions. *Engineering Journal of Satbayev University.*, **2022**, 144(2), 22–27. <https://doi.org/10.51301/ejsu.2022.i2.04>

10. Jumadilov T.K., Totkhuskyzy B., Malimbayeva Z., Kondaurov R., Imangazy A.M., Khimersen K., Grazulevicius J.V. Impact of Neodymium and Scandium Ionic Radii on Sorption Dynamics of Amberlite IR120 and AB-17-8 Remote Interaction. *Materials.*, **2021**, 14, 5402. <https://doi.org/10.3390/ma141854022>

11. Jumadilov T. K., Khimersen Kh., Haponiuk, J.T., Totkhuskyzy B. Enhanced Lutetium Ion Sorption from Aqueous Solutions Using Activated Ion Exchangers. *Polymers.*, **2024**, 16, 220. <https://doi.org/10.3390/polym16020220>

STRUCTURE OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE FILM AFFECTED BY ELECTRON RADIATION AND TEMPERATURES

K.B. Tlebaev ^{1*}, N.A. Bektenov ², A.I. Kupchishin ¹, N.U. Zhanpeisov ³, B.U. Saburov ¹

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences JSC, Almaty, Kazakhstan

³Tohoku University, Shinde, Japan

*E-mail: Tlebaev@mail.ru

Abstract. *Introduction.* The thermal conductivity of the polytetrafluoroethylene film in the temperature range of 80–330 K and radiation doses from 5 to 30 kGy was investigated. *Methodology.* Thermal conductivity studies were carried out at the TAU–5 thermophysical facility. *Results.* The temperature dependence of the thermal conductivity of polytetrafluoroethylene at different irradiation doses was obtained, and the resulting thermal conductivity curves demonstrate phase transitions at temperatures $T_1 = 293$ K and $T_2 = 303$ K. The irradiation of polytetrafluoroethylene films with low doses resulted in a shift of phase transition temperatures to the low temperature region, with a decrease in peak amplitude. Irradiation with a dose of $D = 30$ kGy resulted in a 2 % decrease in thermal conductivity λ , a significant decrease in the intensity of the phase transition peak at T_1 and a complete disappearance of the second peak at T_2 . As the temperature and irradiation dose increased, there was a notable rise in interplanar distances, degree of crystallinity, and unit cell volume. Conversely, there was a reduction in crystal size, a rearrangement of the crystal structure, and a smoothing of phase transitions. *Conclusion.* It was determined that the thermal conductivity of the polymer at low temperatures is attributed to skeletal vibrations of the main chain, while at high temperatures and irradiation doses, it can be attributed not only to the rearrangement of the crystal structure, but also to the disappearance of pores and the ordering of the crystalline phase of polytetrafluoroethylene.

Keywords: thermal conductivity, polytetrafluoroethylene, electron radiation, high temperature, phase transition, crystallization, crosslinking, pores, structure

Tlebaev Kairat Beishenovich Doctor of physical and mathematical sciences, professor;
E-mail: Tlebaev@mail.ru

Bektenov Nesipkhan Abzhaparovich Doctor of chemical sciences, professor;
E-mail: bektenbna@gmail.com

Kupchishin Anatoly Ivanovich Doctor of physical and mathematical sciences, professor;
E-mail: ankupchishin@mail.ru

Zhanpeisov Nurbosyn Ularbaevich Candidate of chemical sciences, professor;
E-mail: nurbosynuz@gmail.com

Saburov Baktybek Uzakbekuly Doctoral Student; E-mail: baxa_89_89@mail.ru

Citation: Tlebaev K.B., Bektenov N.A., Kupchishin A.I., Zhanpeisov N. U., Saburov B.U. Structure of polytetrafluoroethylene thin films affected by electron radiation and temperatures. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 4(88), 35-45. DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.46>

1. Introduction

Polytetrafluoroethylene belongs to mass-consumption polymers due to its unique complex of physico-chemical properties. Polymers used in space must meet certain requirements, including, in some cases, sufficient resistance to ionizing radiation and temperature. A large number of monographs and articles have been devoted to the study of radiation resistance of various types of polymers, in particular, fluoroplastic (F-4) [1–3]. However, the issue related to the behavior of these polymers under irradiation with intense electron beams is currently insufficiently covered. The objective of this study was to examine the impact of temperature and electron irradiation on structural-phase transformations in poly(tetrafluoroethylene) (PTFE) films.

2. Methods and experiments

An industrial fluoroplastic film (F4) was used as the test material. The samples were disks, 30 mm in diameter and 50 μm thick, cut from a fluoroplastic film with a special knife. The irradiation of PTFE films was carried out on the linear electron accelerator ELU-6 at the Physics and Technology Center of Abai University. The main parameters of the accelerated electron beam at the accelerator output are: maximum electron energy – $E = 2 \text{ MeV}$, pulse current – $I = 0.3 \text{ mA} / \text{cm}^2$, pulse duration – 10 ns, repetition rate – 400 Hz, at irradiation doses $D = 5, 10$ and 30 kGy. The research objects were installed at a distance of 30 cm from the exit window of the accelerator. The irradiation temperature was $T = 25^\circ \text{C}$. X-ray diffractometric studies were performed on an automatic Bruker D8 Advance diffractometer with digital recording of measurement results. The study of the structures of the initial and irradiated films was carried out on an Infrared spectrophotometer with a Fourier converter "FTIR Mattson Satellite 3000" in the frequency range $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$, on the XP-146JB optical microscope and on the Quanta 3D 200i scanning electron microscope in the nanolaboratory of the engineering profile of Al-Farabi Kazakh National University.

3. Results and Discussion

The temperature dependence of the thermal conductivity of polytetrafluoroethylene at different radiation doses was obtained (see Fig.1). Phase transitions at temperatures $T_1 = 293 \text{ K}$ and $T_2 = 303 \text{ K}$ were revealed on the curves of the dependence of thermal conductivity. Irradiation of polytetrafluoroethylene films with small doses led to a shift in the temperatures of phase transitions to the low temperature range by 1 K for a dose of $D = 5 \text{ kGy}$ and by 13 K at $D = 10 \text{ kGy}$ and a decrease in peak amplitude. The irradiation of polytetrafluoroethylene films with low doses resulted in a shift of phase transition temperatures to the low temperature region, with a decrease in peak amplitude. Irradiation with a dose of $D = 30 \text{ kGy}$ resulted in a 2 % decrease in thermal conductivity λ , a significant decrease in the intensity of the phase transition peak at T_1 and a complete disappearance of the second peak at T_2 [6].

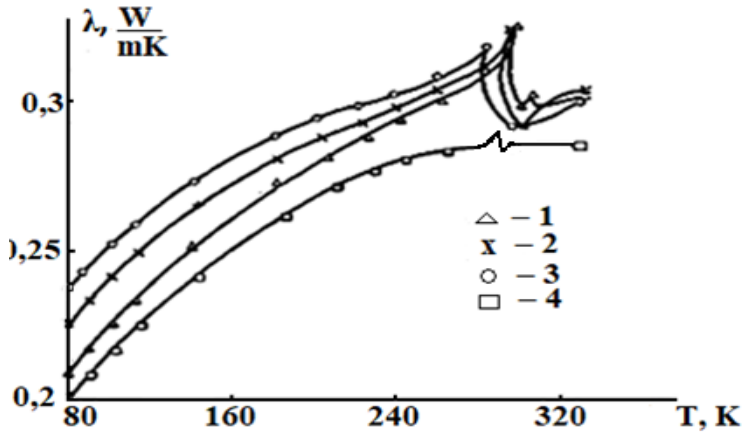


Figure 1 - Experimental curves of temperature dependence of PTFE thermal conductivity at irradiation doses $D = 5, 10$ and 30 kGy

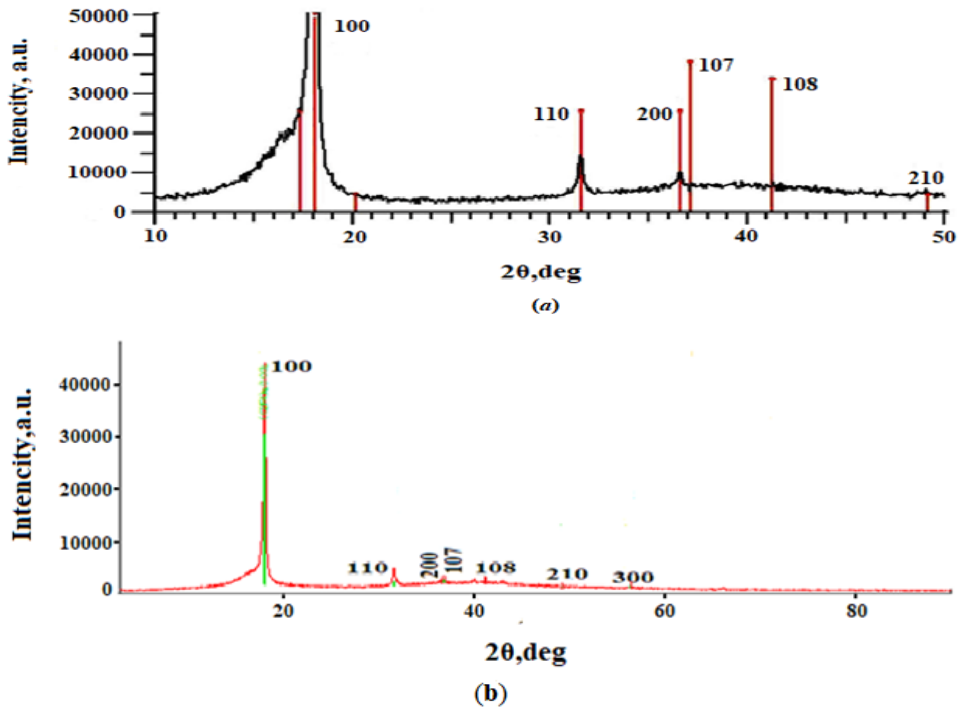


Figure 2 - Diffraction pattern of a fluoroplastic film (a) at a temperature of $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (b) at a dose of 30 kGy

Figure 2, a, b shows diffractograms of fluoroplastic film obtained at temperature of 15°C and irradiation with a dose of 30 kGy. All diffractograms contain a diffraction maximum at $2\theta = 18^{\circ}$ with index $hkl = 100$, which dominates in the spectra of the original polymer and the irradiated one; besides this line, a broad diffuse halo is observed. In addition to the appearance of a number of additional reflections splitting with index 100 and a superposition of lines 200 and 107 are observed at 278 K [4]. As thermal conductivity studies have shown [6], the most important structural changes occur at the temperatures of phase transitions. We studied how fluoroplastic changed using IR spectroscopy.

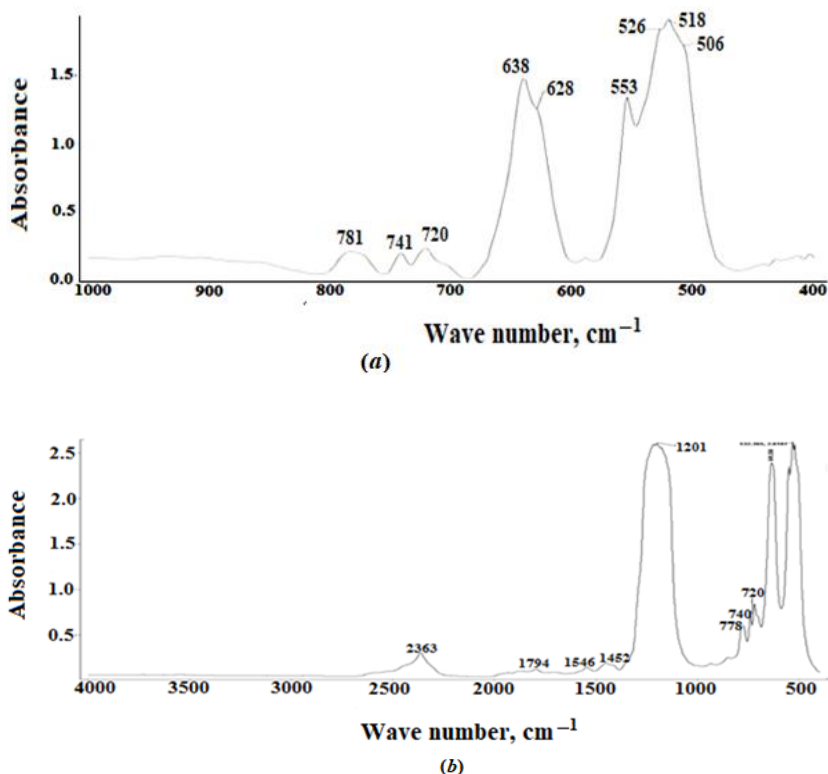


Figure 3 - IR spectra of PTFE a) initial and b) irradiated with electrons at a dose of 30 kGy at a temperature of $T = 19^{\circ}\text{C}$

We looked at frequencies between 1000 and 400 cm^{-1} (Fig. 3). Fig. 3 shows the IR spectrum of PTFE is simple. This is due to the simple structure of its polymer chains. The IR spectrum of the original PTFE (Fig. 3a) at 19°C shows intense absorption bands at 518, 553 and a doublet at 638 cm^{-1} , as well as three weaker bands at 720, 740 and 778 cm^{-1} . In addition to the above bands, two other bands at 526 and 506 cm^{-1} are observed as a shoulder at 518 cm^{-1} . A peculiarity of the IR spectra of this frequency interval is the appearance of the 628 cm^{-1} band of the doublet component at the 638 cm^{-1} band, expressed as a shoulder, and

additional bands at 526 and 506 cm^{-1} of low intensity at the 518 cm^{-1} band. As illustrated in Figure 3b, a broad and intense band at 1201 cm^{-1} emerges in the infrared (IR) spectrum of irradiated polytetrafluoroethylene (PTFE) within the frequency range of 4000–500 cm^{-1} . The most intense bands are related to the valence vibrations of the CF_2 groups (1211 and 1154 cm^{-1}) and the $\nu(\text{CC})$ vibration, which appears as a bend at $\sim 1233 \text{ cm}^{-1}$. The thicknesses of the original and irradiated PTFE films measured with an optical microscope are shown in Figure 4.

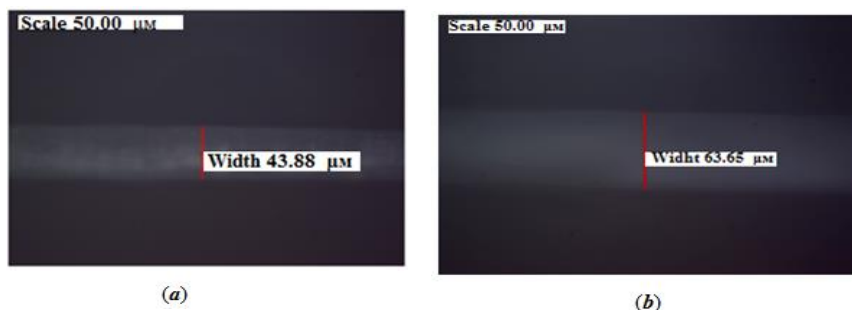


Figure 4– Micrographs of PTFE films a) initial and b) irradiated with electron at a dose of 30 kGy

The micrographs clearly show that irradiation results in a twofold increase in film thickness. Scanning electron microscope examination of the chipping of the original and irradiated PTFE films is shown in Figure 5.

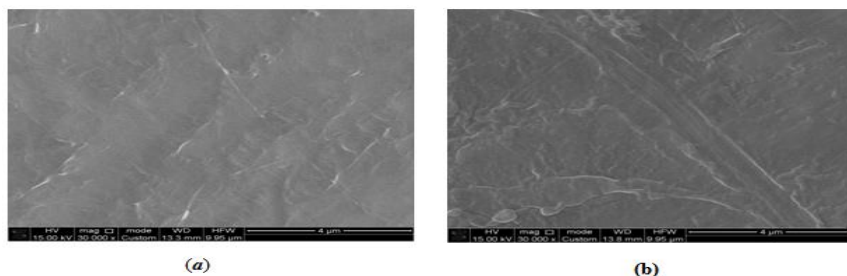


Figure 5– SEM images of PTFE films a) initial and b) irradiated with electrons at a dose of 30 kGy

The SEM images show that there is a significant change in the morphology of the polymer matrix. With increasing irradiation dose, a significant disruption of the polymer crystal structure is observed with the appearance of individual irregularly shaped formations. Additionally, the matrix pores are clearly visible on the chipping surfaces of the studied samples. The crystalline region is represented by lamellae (plates) and consists of folded polymer structures separated by interfacial boundaries. The amorphous (disordered) region of PTFE is situated between crystallites and comprises randomly oriented and traversable polymer chains that connect the lamellae (Figure 5b). The linear increase of the

thermal conductivity λ with temperature can be explained on the basis of the two-phase model proposed in [6].

Table 1 - Characteristics of X-ray diffraction spectra of initial and electron-irradiated polytetrafluoroethylene samples

Miller indices		Origin PTFE		Irradiated	
k	l	2θ , °	d, Å	2θ , °	d, Å
0	0	18.137	4.8871	18.040	4.91315
1	0	31.636	2.8259	31.574	2.83134
0	0	36.706	2.4464	36.623	2.45174
1	0	49.301	1.8469	49.111	1.85360
0	7	36.829	2.43851	36.706	2.4464
0	8	41.526	2.097	43.11	2.17292

Since the polymer is considered in terms of the vibrational motion of a segment rather than the molecule as a whole, the vibrational motion (mobility) of the segments is retarded with decreasing temperature. The value of λ for the crystalline phase increases with increasing temperature [7] because for complex crystals, such as PTFE crystals, the phonon free path length is comparable to that of the amorphous phase. Since $\lambda_k > \lambda_a$, the λ values for PTFE should increase with increasing degree of crystallinity, which is consistent with our data. The decrease of λ with irradiation up to dose $D = 30$ kGy is probably due to the destruction processes leading to a disordered PTFE structure. Irradiation of PTFE by electrons at 30 kGy (Fig. 2b) shifted all diffraction maxima toward smaller angles (Table 1). The irradiated film's diffraction maximum at $2\theta = 18^\circ$, $hkl = 100$, is 10% smaller than the original. The shift and decrease in the diffraction maximum at $2\theta = 18^\circ$ are due to the diffraction maximum $hkl = 100$ consisting of two components with different interplanar distances [4]. An irradiation result in an increase in the interplanar distances (d_{hkl}) of both types of PTFE crystals, yet the extent of this increase differs between them. The expansion of the unit cell volume in irradiated polytetrafluoroethylene (PTFE) is accompanied by a reduction in the density, ρ_c , despite the enhancement in the degree of crystallinity of PTFE.

This conclusion is corroborated by the data obtained through the measurement of the film thickness, which is illustrated in Figure 4. PTFE macromolecules in the amorphous phase have greater mobility and experience greater thermal expansion. This is confirmed by the fact that as the temperature increases from 20 to 320°C, the molecular packing factor decreases from 0.66 to 0.60 in the crystalline region and from 0.58 to 0.46 in the amorphous region [10]. Therefore, the crystalline phase of PTFE contains crystals in both hexagonal and triclinic conformations. Triclinic conformation crystals in the crystalline phase of

PTFE define its unit cell at 15°C. This increases PTFE density. PTFE-based composites filled with silica particles show that PTFE phase transitions are "smoothed out"[4]. It can be inferred that the crystalline phase of PTFE at room temperature may consist of both "triclinic" and "hexagonal" crystals, which could potentially give rise to two components of the observed diffraction maximum $hkl = 100$ in the X-ray spectra of PTFE. Consequently, the irradiation of PTFE can result in a reduction in the quantity of triclinic crystals and an increase in the proportion of hexagonal crystals within the crystalline phase of the polymer. This is corroborated by the correlation between thermal conductivity and temperature and irradiation, as illustrated in Figure 1, as well as by scanning electron microscopy (SEM) images, as depicted in Figure 5. The formation of the halo can be attributed to the phenomenon of intramolecular scattering, which occurs when disordered polymer chains exhibit a conformation that is similar to that observed in PTFE crystals. It is presumed that these macromolecules are present within the smectic phase of the polymer [10]. The halo's spectral shape can be approximated by two Gaussians, indicating two noncrystalline components in the smectic phase of PTFE. The first contains partially ordered macromolecules and the second contains hexagons. [4,10]. Analysis of the IR spectrum of the initial film in the range of 1000–400 cm^{-1} showed that the bands 518 and 553 cm^{-1} , according to [5], characterize the deformation and pendulum vibrations of CF_2 groups, respectively. The IR spectrum shows a well-defined doublet at 638 and 628 cm^{-1} (see Fig. 3), which are characterized as $\gamma\omega$ (CF_2) fan vibrations. The bands at 638, 628 and 518 cm^{-1} are considered to be ordering bands and crystallinity bands [5]. The bands at 720, 741 and 781 cm^{-1} characterize the amorphous phase of PTFE. The appearance of the doublet band at 628 cm^{-1} and the triplet bands at 524, 526 and 506 cm^{-1} in the IR spectra of PTFE at 638 and 518 cm^{-1} is related to the fact that these absorption bands represent phase transitions observed in PTFE at room temperature. The change in the amplitude of the bands at 628 cm^{-1} and 638 cm^{-1} is due to changes in the shape of macromolecules. It is assumed that the band at 628 cm^{-1} characterizes the defectivity of the structure, i.e., chain regions where transitions between left- and right-handed helices occur, and the band at 638 cm^{-1} reflects the presence of a regular helix in the structure of polytetrafluoroethylene. Analysis of the IR spectrum of the irradiated sample of polytetrafluoroethylene in the region below 1000 cm^{-1} shows that the bands characterizing valence vibrations of C–F and C–C, deformation vibrations of CCC and CF_2 groups, out-of-plane vibrations of CF_2 groups, individual fragments and the whole chain [5,7,10] are preserved even at high irradiation doses. This indicates that external irradiation does not lead to complete destruction of the PTFE molecular chain. The most intense band at 1201 cm^{-1} , which appears as a bend, belongs to the valence vibrations of CF_2 groups and $\nu(\text{CC})$ vibrations. Moreover, the IR spectrum of irradiated PTFE samples exhibits a band at 1794 cm^{-1} , which is attributed to the vibrations of $-\text{CF}=\text{CF}_2$ end groups according to quantum chemical calculations. On this basis, it was concluded that the number of these groups is sufficient to register the band corresponding to them, indicating the presence of shorter

macromolecules in the structure of the samples than in the original PTFE. The IR spectra of samples irradiated at high doses show bands at 1546 and 1452 cm^{-1} . According to quantum chemical calculations [5], they can be attributed to the $-\text{CF}=\text{CF}-$ (1546 cm^{-1}) and $-\text{CF}=\text{C}<$ (1452 cm^{-1}) vibrations. In the IR spectra of air-irradiated PTFE samples at high doses ($\sim 30\text{kGy}$), a band at 2363 cm^{-1} appears in addition to the band at 1794 cm^{-1} [8, 9]. It is natural to assume that at high irradiation doses the interaction of formed radicals with air oxygen occurs, especially in the presence of water vapor. The band at 2363 cm^{-1} is attributed to vibrations of $-\text{COOH}-$ groups [5]. The analysis of PTFE film chips, shown in Figure 5, based on X-ray diffraction studies, shows that at high irradiation doses the transition from the helical structure of polytetrafluoroethylene to the planar structure is realized. The process of irradiation of PTFE has been observed to result in a reduction in the quantity of triclinic crystals present within the crystalline phase of the polymer, accompanied by an increase in the proportion of hexagonal crystals.

4. Conclusion

The study of the changes in thermal conductivity of PTFE film induced by temperature and electron irradiation led to the following conclusions:

1. At low temperatures, the phonon free path length increases due to the retardation of segment motion. Heat transfer in PTFE is due to skeletal vibrations of the main chain of PTFE. In this temperature range, the thermal conductivity varies linearly with temperature.

2. An increase in temperature leads to a smooth behavior initially and then to an abrupt change in thermal conductivity at 19 $^{\circ}\text{C}$. The smooth behavior of the thermal conductivity is due to the unfreezing of the segmental mobility of the polymer chain, and the abrupt one is caused by a phase transition of the first type, namely the rearrangement of the crystalline triclinic conformation into a hexagonal conformation.

3. Above the temperature of 19 $^{\circ}\text{C}$, the value of the thermal conductivity returns to the initial value, which is due to the ordering of the crystal structure.

4. Low dose irradiation of polytetrafluoroethylene results in an increase in thermal conductivity associated with an increase in crystallinity.

5. An increase in the irradiation dose results in a reduction in thermal conductivity and the cessation of phase transitions associated with alterations in the polymer structure. These changes are not solely the result of bond rupture, the formation of pores, and the generation of short macromolecular chains; they also stem from the emergence of branched structures and the crossing of chains. The absence of phase transitions can be attributed to the "smoothing" of phase transitions during irradiation, which results in a reduction in the triclinic crystal content and an increase in hexagonal crystal content within the polymer's crystalline phase.

Funding: The work was supported by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (project № 19677662 “Investigation of the influence of electron and ion irradiation on modified composites”).

Conflict of interests: The authors declare that there is no conflict of interest between the authors that requires disclosure in this article.

ЭЛЕКТРОНДЫ СӘУЛЕЛЕНУ МЕН ТЕМПЕРАТУРАҒА ҰШЫРАҒАН ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕННІҢ ҚАБЫҚШАНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫ

Қ.Б. Тілебаев^{1*}, Н.А. Бектенов², А.И. Купчишин¹, Н.У. Жанпейсов³, Б.У. Сабуров¹

¹ Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

² “Ә.Б.Бектұров атындағы Химия ғылымдары институты” АҚ, Алматы, Қазақстан

³Тохоку университеті, Синдей, Жапония

*E-mail: Tlebaev@mail.ru

Түйіндемe. *Kіріспе.* Зерттеу жұмысында 80-330 К температура аралығындағы политетрафторэтилен пленканың жылу өткізгіштігі және 5-тен 30 кГр-ға дейінгі сәулелену дозалары зерттелді. *Әдістеме.* Жылу өткізгіштігін зерттеу ТАУ-5 жылу-физикалық қондырғысында жүргізілді. *Нәтижелер және талқылау.* Әр түрлі сәулелену дозаларында политетрафторэтиленнің жылу өткізгіштігінің температураға тәуелділігі алынды. Жылу өткізгіштікке тәуелділік қисықтарында $T_1 = 293\text{K}$ және $T_2 = 303\text{K}$ температураларында фазалық ауысулар анықталды. $D = 30\text{ кГр}$ дозасымен сәулелену λ жылу өткізгіштігінің 2% - ға төмендеуіне, T_1 -де фазалық ауысу шыңының қарқындылығының айтарлықтай төмендеуіне және T_2 -де екіншісінің толық жоғалуына әкелді. Температура мен сәулелену дозасының жоғарылауы планетааралық арақашықтықтың, кристалдық дәреженің және бірлік ұяшығының көлемінің ұлғаюына, сондай-ақ кристалдар мөлшерінің азаюына, кристалдық құрылымның қайта құрылуына және фазалық ауысулардың тегістелуіне әкеледі. *Қорытынды.* Төмен температурада полимердің жылу өткізгіштігі негізгі тізбектің қаңқа тербелістеріне байланысты екендігі анықталды, ал жоғары температура мен сәулелену дозаларында кристалдық құрылымның қайта құрылуына ғана емес, сонымен қатар кеуектердің жоғалуына және политетрафторэтиленнің кристалдық фазасының реттелуіне байланысты болуы мүмкін.

Түйін сөздер: Жылу өткізгіштік; политетрафторэтилен; электронды сәулелену; жоғары температура; фазалық ауысу; кристалдану; айкаспалы байланыс; кеуектер; құрылым

<i>Тілебаев Қайрат Бейшенұлы</i>	<i>физика-математика ғылымдарының докторы, профессор</i>
<i>Бектенов Несіпхан Абжапарұлы</i>	<i>химия ғылымдарының докторы, профессор</i>
<i>Купчишин Анатолий Иванович</i>	<i>физика-математика ғылымдарының докторы, профессор</i>
<i>Жанпейсов Нұрбосын Уларбайұлы</i>	<i>химия ғылымдарының кандидаты, профессор</i>
<i>Сабуров Бақтыбек Узақбекұлы</i>	<i>докторант</i>

СТРУКТУРА ПЛЕНКИ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА, ПОДВЕРЖЕННАЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭЛЕКТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУР

К.Б. Тлебаев^{1*}, Н.А. Бектенов², А.И. Купчишин¹, Н.У. Жанпейсов³, Б.У. Сабуров¹

¹Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан

²АО "Институт химических наук им. Б. Бектұрова", Алматы, Казахстан

³Университет Тохоку, Синдей, Япония

*E-mail: Tlebaev@mail.ru

Резюме. Введение В работе исследована теплопроводность пленки политетрафторэтилена в интервале температур 80–330 К и доз облучения от 5 до 30 кГр. *Методика.* Исследования теплопроводности проводили на теплофизической установке ТАУ-5. *Результаты и обсуждение.* Получена температурная зависимость теплопроводности политетрафторэтилена при различных дозах облучения. На кривых зависимости теплопроводности выявлены фазовые переходы при температурах $T_1 = 293\text{К}$ и $T_2 = 303\text{К}$. Облучение дозой $D = 30\text{ кГр}$ привело к уменьшению теплопроводности λ на 2 %, к значительному снижению интенсивности пика фазового перехода при T_1 и полному исчезновению второго при T_2 . Повышение температуры и дозы облучения приводят к увеличению межплоскостных расстояний, степени кристалличности и объема элементарной ячейки, а также к уменьшению размера кристаллов, перестройке кристаллической структуры и сглаживанию фазовых переходов. *Заключение.* Установлено, что теплопроводность полимера при низких температурах обусловлена скелетными колебаниями основной цепи, а при больших температурах и дозах облучения могут быть обусловлены не только перестройкой кристаллической структуры, но также исчезновением пор и упорядочением кристаллической фазы политетрафторэтилена.

Ключевые слова. Теплопроводность; политетрафторэтилен; электронное излучение; высокие температуры; фазовый переход; кристаллизация; сшивание; поры; структура

<i>Тлебаев Кайрат Бейшеневич</i>	<i>доктор физико-математических наук, профессор</i>
<i>Бектенов Несипхан Абжапарович</i>	<i>доктор химических наук, профессор</i>
<i>Купчишин Анатолий Иванович</i>	<i>доктор физико-математических наук, профессор</i>
<i>Жапиесов Нурбосын Уларбаевич</i>	<i>кандидат химических наук, профессор</i>
<i>Сабуров Бактыбек Узакбекулы</i>	<i>докторант</i>

References

1. G.P. Sobolev, A.N. Ilyin. The role of the nanoscale material structure for products made of fluorine plastic-4. *Journal "Fluorine Notes"*, **2011**, 1(74), 21p.
2. Khatipov, S.A.; Serov, S.A.; Buznik, V.M. Radiation modification of polytetrafluoroethylene. In Opportunities for Fluoropolymer. Synthesis, Characterization, Processing, Simulation and Recycling. Progress in Fluorine Science; Bruno, A., Sergey, F., Eds.; Elsevier: Amsterdam, the Netherlands., **2020**, 137–188. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821966-9.00006-7>
3. Spadaro, G.; Alessi, S.; Dispenza, C. Ionizing radiation-induced crosslinking and degradation of polymers. In Applications of Ionizing Radiation in Materials Processing; Sun, Y., Chmielewski, A.G., Eds.; Institute of Nuclear Chemistry and Technology: Warszawa, Poland, **2017**, 1, 167–182.
4. Kalistratova, L.F.; Mashkov, Y.K.; Egorova, V.A. Calculation of X-ray Density of Amorphous-Crystalline Polymer Taking into Account Degree of Ordering of Amorphous Phase. *Inorg. Mater. Appl. Res.*, **2018**, 9, 687–692. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1134/S2075113318040147>
5. L.N. Ignatyeva, V.M. Buznik. IR spectroscopic studies of polytetrafluoroethylene and its modified forms. *Ros. Khim. zh.*, **2008**, LII, No. 3, 139–145. DOI: <https://doi.org/10.1134/s1070363209030499>
6. Briskman V.A., Tlebaev K.B. Radiation effects on thermal properties of polymers. II. Polytetrafluoroethylene. *High Perform. Polym.*, **2008**, 17(1), 103–116. DOI: <https://doi.org/10.1177/095400830707954>.
7. Smolyanskii, A.S.; Arsenyev, M.A.; Rashkovskii, A.Y.; Politova, E.D. Radiation-Induced Changes in the Degree of Crystallinity of Powdered Polytetrafluoroethylene. *Crystallography. Rep.*, **2019**, 64, 553–558. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063774519040205>
8. Aizawa, T.; Wakui, Y. Correlation between the Porosity and Permeability of a Polymer Filter Fabricated via CO₂-Assisted Polymer Compression. *Membranes.*, **2020**, 10, 391. DOI: <https://doi.org/10.3390/membranes10120391>

9. Jiang, C.; Cai, S.; Mao, L.; Wang, Z. Effect of Porosity on Dynamic Mechanical Properties and Impact Response Characteristics of High Aluminum Content PTFE/Al Energetic Materials. *Materials.*, **2020**, 13, 140. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13010140>

10. Smolyanskii A. S., Politova E. D., Koshkina O. A., Arsentyev, M.A., Kusch P. P., Moskvitin L. V., Slesarenko S.V., Kiryukhin D.P. and TrachtenbergL. I. Structure of Polytetrafluoroethylene Modified by the Combined Action of γ -Radiation and High Temperatures Polymers. *Polymers.*, **2021**, 13, 3678–3695. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13213678>

INVESTIGATION OF POSSIBILITY OF MANGANESE ORE CONCENTRATION WASTES INVOLVEMENT IN INORGANIC MATERIALS PRODUCTION

Sh. N.Kubekova, V.I.Kapralova, A.S.Raimbekova*, I.U.Motovilov,
G.T.Ibraimova, N.A. Ihsan, V.E.Kuznetsov

Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

*E-mail: ainura_748@mail.ru

Abstract: *Introduction.* The problem of processing waste from the mining and metallurgical complex of the Republic of Kazakhstan, including manganese ore processing waste, is relevant both from a technological (expanding the raw material base and assortment of marketable products) and from a geo-ecological (minimizing waste, preserving resources and the environment) point of view. *The purpose of this work* is to study the possibility of processing manganese ore processing waste from some deposits in Kazakhstan into phosphating solutions. *Results and discussion.* Using electron-probe, energy-dispersive X-ray fluorescence, X-ray phase analysis, the material and mineral composition of manganese ore concentration wastes from the Borly, Zhayrem and Altyn-Shoko deposits was studied. It was found that the total content of soluble compounds in the productive solution of phosphate leaching of waste from Borly is 3.0-3.1 g/l with a ratio of total acidity to free acidity of 1.6-1.9, which excludes the possibility of using this solution to create anti-corrosion coatings. Productive solutions of phosphate leaching of manganese ore concentration wastes of Zhayrem and Altyn-Shoko deposits have total content of soluble dihydrogen phosphates of 26.0-29.3 g/l (Zhayrem) and 30.2-34.5 g/l (Altyn-Shoko) with total acidity to free acidity ratio of 1.8-2.7. *Conclusion.* The possibility of obtaining anticorrosive phosphating solutions based on manganese ore concentration wastes from the Zhaipem and Altyn-Shoko deposits is shown.

Keywords: manganese ores, concentration wastes, phosphating solutions, phosphoric acid leaching, productive solution

<i>Sholpan Nakishbekovna Kubekova</i>	<i>Candidate of Technical Sciences; E-mail: s.kubekova@satbayev.university</i>
<i>Victoria Igorevna Kapralova</i>	<i>Doctor of Engineering; E-mail: v.kapralova@satbayev.university</i>
<i>Ainura Saginzhankyzy Raimbekova</i>	<i>Master of engineering; E-mail: a.raimbekova@satbayev.university</i>
<i>Igor Yurievich Motovilov</i>	<i>PhD; E-mail: i.motovilov@satbayev.university</i>
<i>Gulnur Talipbaevna Ibraimova</i>	<i>Master of engineering; E-mail: g.ibraimova@satbayev.university</i>
<i>Ikhsan Nuray Armankyzy</i>	<i>Student 4 years of study, EP 6B07116; E-mail: ikhsanuray@mail.ru</i>
<i>Kuznetsov Valeriy Evgenievich</i>	<i>Student 2 years of study, EP 6B07116; E-mail: balepa2311@gmail.com</i>

Citation: Kubekova Sh.N., Kapralova V.I., Raimbekova A.S., Motovilov I.U., Ibraimova G.T., Ihsan N.A., Kuznetsov V.E. Investigation of possibility of manganese ore concentration wastes involvement in inorganic materials production. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 4(88), 46-56. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.47>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОВЛЕЧЕНИЯ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ РУД В ПРОИЗВОДСТВО НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Ш.Н. Кубекова, В.И. Капралова, А.С. Раимбекова, И.Ю. Мотовилов,
Г.Т. Ибраимова, Н.А. Ихсан, В.Е. Кузнецов*

*Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева,
Алматы, Казахстан*

**E-mail: aimura_748@mail.ru*

Резюме. *Введение.* Проблема переработки отходов ГМК РК, в том числе отходов обогащения марганцевых руд, является актуальной как с технологической (расширение сырьевой базы и ассортимента товарной продукции), так и с геоэкологической (минимизация отходов, сохранение ресурсов и окружающей среды) точек зрения. *Целью данной работы* является исследование возможности переработки отходов обогащения марганцевых руд некоторых месторождений Казахстана на растворы фосфатирования. *Результаты и обсуждение.* С использованием электронно-зондового, энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного, рентгенофазового анализов изучен вещественный и минеральный состав отходов обогащения марганцевых руд месторождений Борлы, Жайрем и Алтын-Шоко. Установлено, что суммарное содержание растворимых соединений в продуктивном растворе фосфорнокислотного выщелачивания отходов м.Борлы составляет 3.0-3.1 г/л при отношении общей кислотности к свободной 1.6-1.9, что исключает возможность использования данного раствора для создания антикоррозионных покрытий. Продуктивные растворы фосфорнокислотного выщелачивания отходов обогащения руд месторождений Жайрем и Алтын-Шоко имеют суммарное содержание растворимых дигидрофосфатов 26.0-29.3 г/л (м.Жайрем) и 30.2-34.5 г/л (м.Алтын-Шоко) при отношении общей кислотности к свободной в пределах 1.8-2.7. *Заключение.* Показана возможность получения антикоррозионных фосфатирующих растворов на основе отходов обогащения марганцевых руд месторождений Жайрем и Алтын-Шоко.

Ключевые слова: марганцевые руды, отходы обогащения, растворы фосфатирования, фосфорнокислотное выщелачивание, продуктивный раствор

<i>Кубекова Шолпан Накишбековна</i>	<i>Кандидат технических наук</i>
<i>Капралова Виктория Игоревна</i>	<i>Доктор технических наук</i>
<i>Раимбекова Айнур Сагинжанкызы</i>	<i>Магистр технических наук</i>
<i>Мотовилов Игорь Юрьевич</i>	<i>Доктор философии (PhD)</i>
<i>Ибраимова Гульнур Талипбаевна</i>	<i>Магистр технических наук</i>
<i>Ихсан Нурай Арманкызы</i>	<i>Студент 4 года обучения, ОП 6В07116 - ТОПуНМ</i>
<i>Кузнецов Валерий Евгеньевич</i>	<i>Студент 2 года обучения, ОП 6В07116 - ТОПуНМ</i>

1. Введение

В настоящее время одной из острых мировых проблем, требующих внимания, является проблема накопления больших количеств не утилизируемых промышленных отходов, основными продуцентами которых являются горно-добывающие и обогатительные предприятия [1-4]. По сведениям авторов [5-6], в результате многолетней деятельности предприятий ГМК РК в хвостохранилищах и отвалах в настоящее время накоплено более 50 млрд. тонн промышленных отходов, занимающих огромные территории. Ежегодно это количество увеличивается (таблица 1).

Таблица 1 - Отходы обогатительных предприятий по областям РК [5]

Наименование областей	Количество	Запасы, тыс.тонн	Площадь, км ²
Акмолинская	11	76834.50	12.30
Актюбинская	8	30675.30	6.30
Алматинская	5	47914.90	2.99
Восточно-Казахстанская	39	887914.57	19.57
Жамбулская	6	44188.93	1.58
Карагандинская	37	2809342.13	89.20
Костанайская	4	611101.70	27.45
Павлодарская	2	8770.86	1.23
Южно-Казахстанская	5	142355.30	3.52

В то же время отвалы процессов обогащения руд содержат такие ценные компоненты, как соединения цветных металлов, которые могут быть применены для производства композитных вяжущих, огнеупоров, футеровочных материалов, минерального волокна и других видов продукции [7-9].

Переработка таких отходов особенно актуальна как с технологической (расширение сырьевых источников и ассортимента товарной продукции), так и с экологической точек зрения, поскольку позволяет решать вопросы геоэкологической безопасности в части минимизации образования отходов, сохранения минеральных ресурсов, энергосбережения, восстановления и сохранения окружающей среды. Однако до сих пор переработка отходов горнодобывающей промышленности не стала распространенной практикой для Казахстана и уровень их использования в настоящее время остается достаточно низким [5; 9].

Особый научный и практический интерес представляет вопрос утилизации отходов горнодобывающих и металлургических предприятий Республики Казахстан, осуществляющих добычу и обогащение марганцевых руд. Марганцевые минералы имеют схожие характеристики с нерудными минералами, что делает флотационное обогащение марганцевых руд на производстве менее эффективным и выводит на первый план применение в основном гравитационного обогащения. Это, в свою очередь, приводит к значительным потерям марганца с мелкими классами, остающимися в хвостах, которые в настоящее время не утилизируются [10]. В связи с этим актуальной становится задача поиска технических решений по вовлечению этих отходов в производство новых материалов.

Одним из возможных путей решения проблемы переработки вторичного марганецсодержащего сырья является создание на их основе таких перспективных антикоррозионных материалов как фосфатирующие растворы [11-12]. Однако известные фосфатирующие растворы, получаемые на основе индивидуальных солей марганца, в основном импортируются из

стран ближнего и дальнего зарубежья, поскольку собственное их производство в РК отсутствует, несмотря на наличие сырьевых ресурсов.

Целью данной работы является исследование возможности переработки отходов обогащения марганцевых руд некоторых месторождений Казахстана на растворы фосфатирования.

2. Экспериментальная часть

Объектами исследования являлись отходы гравитационного обогащения первичных, а также окисленных марганцевых руд следующих месторождений Казахстана:

I – Борлы; II – Жайрем; III – Алтын-Шоко, первичная руда;

IV – Алтын-Шоко, окисленная руда.

Качественное и количественное определение основных и примесных элементов в объектах исследований проводился методом электронно-зондового анализа с помощью электронного микроскопа фирмы JEOL-733 с рентгеновским анализатором, а также рентгенофлуоресцентным анализом с использованием высокопроизводительного энергодисперсионного рентгеновского флуоресцентного спектрометра NEX CG компании Rigaku.

Фазовый состав отходов обогащения марганцевых руд были изучены методом рентгеновского дифрактометрического анализа, который проводился на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3 с $Cu_{K\alpha}$ – излучением, β -фильтр. Условия съемки дифрактограмм: $U=35$ кВ; $I=20$ мА; шкала: 2000 имп.; постоянная времени 2 с; съемка θ - 2θ ; детектор 2 град/мин. Расшифровка дифрактограмм проводилась по данным картотеки ICDD: База данных порошковых дифрактометров PDF2 (Powder Diffraction File) и дифрактограмм чистых от примесей минералов.

Содержание соединений марганца и железа в продуктивных растворах выщелачивания определяли фотоколориметрическим методом по известным методикам [13]. Содержание в растворах соединений кальция и магния определяли методом комплексонометрического титрования [13], а растворимых соединений кремния весовым методом [13].

3. Результаты и обсуждение

Вещественный состав исходных проб объектов исследований по данным электронно-зондового и рентгенофлуоресцентного анализом представлен в таблице 1, а минеральный состав по результатам РФА – в таблице 2.

Таблица 2 - Вещественный состав отвальных хвостов обогащения марганцевых руд некоторых месторождений Казахстана по данным электронно-зондового и рентгенофлуоресцентного анализов.

Объект	Метод	Среднее содержание составляющих компонентов, масс.% (кислород по стехиометрии, нормализован)										
		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	BaO
I	Э/зонд	0.00	0.00	4.86	79.04	0.00	0.36	0.00	0.00	10.51	5.23	0.00
	ЭДРФ	0.00	0.00	5.10	81.20	0.06	0.22	0.10	0.14	8.41	4.32	0.00
II	Э/зонд	0.96	1.56	3.50	24.34	1.09	0.77	54.42	0.56	10.12	2.67	0.00
	ЭДРФ	0.00	0.00	3.88	23.00	0.49	0.51	55.30	0.19	11.8	2.99	0.00
III	Э/зонд	1.06	1.35	3.08	19.60	0.27	0.48	61.15	0.39	7.46	5.16	0.00
	ЭДРФ	0.00	0.00	4.52	24.00	0.13	0.52	56.90	0.13	7.56	5.40	0.00
IV	Э/зонд	0.72	0.85	5.04	27.76	0.00	1.42	35.38	0.23	26.17	1.93	0.49
	ЭДРФ	0.00	0.00	5.57	32.20	0.00	1.01	34.60	0.16	23.20	2.02	0.17

Таблица 3 - Результаты РФА кристаллических фаз исходных проб отходов обогащения марганцевых руд некоторых месторождений Казахстана.

Минерал	Химическая формула	Объекты исследований			
		I	II	III	IV
		Содержание, масс. %			
Кальцит	CaCO ₃	0.0	76.4	75.0	58.0
Кварц	SiO ₂	76.7	16.4	15.0	38.0
Каолинит	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	11.8	0.0	0.0	0.0
Браунит	(Mn ₂ O ₃) ₃ MnSiO ₃	0.0	2.4	0.0	При- месь
Мангано-лангбейнит	K ₂ Mn ₂ ⁺² (SO ₄) ₃	0.0	0.0	5.0	0.0
Пирролюзит	MnO ₂	6.8	0.0	0.0	0.0
Гематит	Fe ₂ O ₃	4.7	0.0	0.0	0.0
Альбит (ПШ)	Na(AlSi ₃ O ₈)	0.0	4.9	5.0	2.0
Хлорит	(Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·(Mg,Fe) ₃ (OH) ₆	0.0	0.0	0.0	2.0

Из результатов следует (таблицы 2-3), что основным компонентом хвостов обогащения первичных марганцевых руд является кальцит CaCO₃ (75.0÷76.4 масс.%) при содержании кальция 54.42÷61.15 масс.% CaO. Данные отходы также содержат кварц SiO₂ (15.0÷16.4 масс.%) и альбит Na(AlSi₃O₈) – 4.9÷5.0 масс.%. Марганец в хвостах обогащения руды месторождения Жайрем (проба II) присутствует в виде минерала браунита (Mn₂O₃)₃MnSiO₃ – 2.4 масс.% (таблица 3) с содержанием марганца 10.12 масс.%MnO (таблица 2).

В отходах обогащения первичной руды м.Алтын-Шоко (проба III) по данным РФА обнаружен минерал манганолангбейнит K₂Mn₂⁺²(SO₄)₃ в количестве 5.0 масс.% (таблица 3) с содержанием марганца – 7.46 масс.% MnO (таблица 2).

Основными кристаллическими фазами отходов обогащения окисленной руды м.Алтын-Шоко (проба IV) также являются кальцит – 58.0 масс.%, (таблица 3) при содержании кальция 35.38 масс.%CaO (таблица 2) и кварц SiO_2 – 38.0 масс.%, (таблица 2). Отмечено наличие полевого шпата (2 масс.%) и хлорита (2 масс.%) (таблица 3). Окристаллизованные минералы марганца в отходах обогащения данной руды по результатам РФА присутствуют в виде примеси браунита (таблица 3). Хотя по результатам электронно-зондового и рентгенофлуоресцентного анализов содержание соединений марганца в отходах обогащения окисленной руды м.Алтын-Шоко довольно значительное и составляет 23.20-26.17 масс.% MnO (таблица 2).

Основными кристаллическими фазами отходов обогащения руды м.Борлы являются кварц SiO_2 – 76.7 масс.% и глинистый минерал каолинит $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ – 11.8 масс.% при отсутствии кальцита (таблица 3). Марганец присутствует в виде минерала пиролюзита MnO_2 – 6.8 масс.% с содержанием марганца 10.51 масс.% MnO (таблица 2). В отходах также содержится гематит Fe_2O_3 – 4.7 масс.% (таблица 3).

Для выявления возможности переработки отходов обогащения марганцевых руд на антикоррозионные растворы фосфатирования был изучен процесс фосфорнокислотного выщелачивания основных компонентов вышерассмотренных отходов обогащения марганцевых руд. В качестве выщелачивающего реагента был использован 40 %-ный раствор ортофосфорной кислоты. Выщелачивание проводили при соотношении Т:Ж = 1:25, температурах 25°C и 50°C при постоянном перемешивании пульпы и времени выщелачивания 30 мин. После окончания процесса выщелачивания пульпу фильтровали через плотный фильтр. Остаток твердого высушивали при 105°C в течение часа и рассчитывали общую растворимость отходов обогащения в растворе фосфорной кислоты по потере массы твердого (отн.%). Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Общая растворимость отходов обогащения марганцевых руд некоторых месторождений Казахстана в 40%-ной фосфорной кислоте в зависимости от температуры и общая и свободная кислотность продуктивных растворов.

Объект исследований	Температура, °C	Растворимость, отн.%	Концентрация солей в растворе, г/л	Общая кислотность $K_{\text{общ}}$, точек	Свободная кислотность, $K_{\text{своб}}$, точек	$K_{\text{общ}}/K_{\text{своб}}$
I	25	7.2	3.0	21.2	13.2	1.6
	50	7.6	3.1	21.4	11.2	1.9
II	25	60.1	26.0	21.6	10.6	2.1
	50	69.2	29.3	20.8	9.6	2.2
III	25	73.4	34.5	21.5	11.8	1.8
	50	69.3	30.2	20.3	10.2	2.0
IV	25	55.0	25.8	21.4	8.9	2.4
	50	56.8	26.6	20.5	7.6	2.7

Фильтрат после выщелачивания отходов обогащения был проанализирован на условно-общую $K_{\text{общ}}$ и свободную $K_{\text{своб}}$ кислотность, поскольку эти показатели в промышленности определяют качество растворов фосфатирования [12]. Условно-общую кислотность (суммарное содержание свободной фосфорной кислоты и фосфат-ионов) определяли титрованием пробы с индикатором фенолфталеином 1 М раствором NaOH. Свободную кислотность (содержание только свободной фосфорной кислоты) определяли титрованием 1 М раствором NaOH в присутствии индикатора метилоранжа. При этом в практике фосфатирования принято количество миллилитров щелочи, пошедшей на титрование условно выражать в точках, то есть 1 мл – 1 точка. Полученные результаты также представлены в таблице 4.

Из результатов следует, что минимальной растворимостью в 40 %-ном растворе H_3PO_4 – 7.2-7.6 отн.% обладают отходы обогащения руды м.Борлы при суммарном содержании растворимых соединений в фильтрате 3.0-3.1 г/л (таблица 4, проба I). Тогда как концентрация солей в известном растворе фосфатирования должна составлять 30-35 г/л [12]. Соотношение $K_{\text{общ}}/K_{\text{своб}}$ составляет 1.6-1.9. Низкое солесодержание и высокая свободная кислотность исключает возможность формирования качественных фосфатных покрытий на стали, что не позволяет рекомендовать отходы обогащения руды м.Борлы как сырье для получения фосфатирующих концентратов.

Наибольшей растворимостью в H_3PO_4 обладают хвосты обогащения руд месторождений Жайрем (60.1-69.2 отн.%) и Алтын-Шоко (73.4-69.3 отн.%). Снижение концентрации H_3PO_4 , как и повышение температуры выщелачивания ускоряет процесс гидролитической деструкции первичных фосфатов железа и марганца с образованием нерастворимых гидро- и ортофосфатов, остающихся в твердой фазе, что и подтверждают результаты РФА (таблица 5) и электронно-зондового анализа (таблица 6).

Таблица 5 - Результаты РФА кристаллических фаз твердых остатков после выщелачивания фосфорной кислотой отходов обогащения марганцевых руд.

Минерал, химическая формула	Объекты исследований							
	I		II		III		IV	
	Температура выщелачивания, °С							
	25	50	25	50	25	50	25	50
Содержание, %								
Кальцит, $CaCO_3$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Кварц, SiO_2	91.0	95.0	77.0	80.0	67.0	68.0	86.0	84.0
Каолинит, $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Браунит, $(Mn_2O_3)_3MnSiO_3$	1.0	1.0	10.0	8.0	4.0	3.0	4.0	3.0
Пирролюзит, MnO_2	2.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	6.0
Липскомбит, $Fe_{1.375}(PO_4)(OH)$	0.0	0.0	3.0	4.0	0.0	1.0	0.0	0.0
Серрабранкаит, $MnPO_4 \cdot H_2O$	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0
Альбит, $Na(AlSi_3O_8)$	0.0	0.0	10.0	8.0	21.0	20.0	2.0	4.0

Таблица 6 - Вещественный состав твердых остатков после фосфорнокислотного выщелачивания отходов обогащения марганцевых руд некоторых месторождений РК в зависимости от температуры.

Об-ект	Тем-пе-ра-тура, °С	Содержание компонентов, масс.% (кислород по стехиометрии, нормализован)										
		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO
I	25	0.00	0.00	5.11	80.25	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00	8.77	5.32
	50	0.00	0.00	5.03	82.03	0.00	0.00	0.51	0.00	0.00	8.25	4.18
II	25	2.43	2.68	8.49	64.24	0.66	0.74	1.93	0.49	1.28	11.45	5.61
	50	2.65	1.87	6.55	61.96	2.58	0.97	1.54	0.59	1.47	13.79	6.03
III	25	2.69	1.46	8.80	59.35	7.38	0.00	2.30	0.46	0.49	8.59	8.48
	50	2.71	1.52	7.17	58.85	7.24	0.00	1.17	0.25	0.45	10.16	10.48
IV	25	0.81	1.07	7.23	48.31	0.93	0.00	3.93	0.23	0.13	34.40	2.96
	50	0.72	0.82	6.18	51.00	1.63	0.00	1.58	0.25	0.30	34.70	2.82

Солесодержание в продуктивных растворах выщелачивания отходов обогащения первичных руд составляет (26.0-29.3) г/л (м.Жайрем) и (34.5-30.2) г/л (м.Алтын-Шоко). Соотношение $K_{\text{общ}}/K_{\text{своб}}$ находится в пределах 1.8-2.2 (таблица 4).

Концентрационный состав растворов выщелачивания отходов обогащения марганцевых руд месторождений Жайрем и Алтын-Шоко по основным компонентам, определенный по результатам химического анализа представлен в таблице 7.

Таблица 7 - Концентрация компонентов в продуктивных растворах выщелачивания в зависимости от температуры.

Объект исследо-ваний	Темпе-ра-тура °С	Концентрация компонентов в пересчете на оксиды, г/л					
		MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MnO	FeO
II	20	0.21	0.05	0.00	22.88	2.56	0.20
	50	0.43	0.66	2.70	23.49	2.85	0.37
III	20	0.00	1.00	3.86	26.72	2.48	1.48
	50	0.00	1.16	3.40	26.74	2.20	1.13
IV	20	0.00	0.50	4.30	16.36	0.37	0.06
	50	0.00	1.40	4.00	16.37	4.02	0.40

Из результатов следует, что основными компонентами растворов выщелачивания отходов обогащения марганцевых руд месторождений Жайрем и Алтын-Шоко являются дигидрофосфаты кальция, марганца, железа и алюминия, что позволяет рекомендовать их в качестве растворов фосфатирования для формирования на стальных конструкциях конверсионных защитных покрытий.

4. Заключение

Проведено комплексное исследование вещественного и минерального состава отходов обогащения марганцевых руд месторождений Борлы, Жайрем и Алтын-Шоко. Выявлено, что основными фазами отходов

обогащения руды м.Борлы являются кварц (76.7%) и каолинит (11.8%). Марганец присутствует в виде пиролюзита с содержанием 8.41-10.51 масс.% MnO. Основной фазой отходов обогащения первичных руд месторождений Жайрем и Алтын-Шоко является кальцит – 75-76 масс.%. Марганец представлен в виде минерала браунита $(Mn_2O_3)_3MnSiO_3$ с содержанием 10-11 масс.% MnO (м.Жайрем) или манганолангбейнита $K_2Mn^{2+}(SO_4)_3$ с содержанием марганца 7.5 масс.% MnO (м.Алтын-Шоко). Отходы обогащения окисленных руд м.Алтын-Шоко содержат кальцит (58 %) и кварц (38%). Окристаллизованные соединения марганца в этих отходах по результатам РФА отсутствуют, хотя по данным электронно-зондового и энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализов содержание марганца здесь наиболее высокое - 23-26 масс.% MnO. Установлено, что суммарное содержание растворимых соединений в продуктивном растворе фосфорнокислотного выщелачивания отходов м.Борлы составляет 3.0-3.1 г/л при отношении общей кислотности к свободной 1.6-1.9, что исключает возможность использования данного раствора для создания антикоррозионных покрытий. Продуктивные растворы фосфорнокислотного выщелачивания отходов обогащения марганцевых руд месторождений Жайрем и Алтын-Шоко имеют суммарное содержание растворимых дигидрофосфатов 26.0-29.3 г/л (м.Жайрем) и 30.2-34.5 г/л (м.Алтын-Шоко) при отношении общей кислотности к свободной в пределах 1.8-2.7, что позволяет рекомендовать их в качестве растворов фосфатирования для защиты стальных конструкций от коррозии.

Финансирование. Данная работа выполнена по НИП АР23489432 по теме: «Новые конверсионные антикоррозионные покрытия на основе отходов обогащения марганцевых руд Казахстана» на 2024-2026 годы, финансируемым Комитетом науки Министерства науки и высшего образования РК.

Конфликт интересов: конфликт интересов между авторами отсутствует.

БЕОРГАНИКАЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫ ӨНДІРУГЕ МАРГАНТІ РУДАЛАРЫНЫҢ ҚАЛДЫҚТАРЫН БАЙЫТУ МҮМКІНДІГІН ЗЕРТТЕУ

*Ш.Н. Кубекова, В.И. Капралова., А.С. Райымбекова *, И.Ю. Мотовилов, Г.Т. Ибраимова, Н.А. Ихсан, В.Е. Кузнецов*

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан
*E-mail: ainura_748@mail.ru

Түйіндемe. *Kіріспе.* ҚР Тау-кен металлургия комбинатының қалдықтарын, оның ішінде марганец кендерін байыту қалдықтарын қайта өңдеу проблемасы технологиялық (шикізат базасын және тауар өнімінің ассортиментін кеңейту), сондай-ақ геоэкологиялық (қалдықтарды азайту, минералдық ресурстар мен қоршаған ортаны сақтау) көзқарастарымен өзекті болып табылады. *Бұл жұмыстың мақсаты* қалдықтарды қайта өңдеу Қазақстанның кейбір кен орындарының марганец кендерін фосфаттау ерітінділеріне байыту мүмкіндігін зерттеу болып табылады. *Нәтижелер және талқылау.* Электрондық-зондты, энергодисперсиялық рентген-флуоресцентті, рентген-фазалық талдауларды пайдалана отырып, Борлы, Жайрем және Алтын-Шоко Марганец кенінің байыту қалдықтарының минералдық құрамы зерттелді. Борлы кен орнының қалдықтарын фосфорқышқылды шаймалаудың өнімді ерітіндісіндегі еритін қосылыстардың жиынтық құрамы

3.0-3.1 г / л, ал жалпы кышкылдықтың бос кышкылдыққа қатынасы 1.6-1.9 құрайтыны анықталды, бұл ерітіндіні коррозияға қарсы жабындарды жасау үшін пайдалану мүмкіндігін жокқа шығарады. Жәйрем және Алтын-Шоко кен орындарының марганец кендерін байыту қалдықтарын фосфор қышқылымен шаймалаудың өнімді ерітінділерінде жалпы кышкылдығы бос кышкылдыққа қатынасы 1.8-2.7 шегінде, ал еритін дигидрофосфаттардың жиынтық құрамы 26.0-29.3 г/л (Жәйрем кен орны) және 30.2-34.5 г/л (Алтын-Шоко кен орны) болады. *Қорытынды.* Жәйрем және Алтын-Шоко кен орындарының марганец кендерін байыту қалдықтары негізінде коррозияға қарсы фосфаттаушы ерітінділер алу мүмкіндігі көрсетілген.

Түйінді сөздер: марганец кендері, байыту қалдықтары, фосфаттау ерітінділері, фосфор қышкылды сілтілеу, өнімді ерітінді

Кубекова Шолпан Накишбековна	<i>Техника ғылымдарының кандидаты</i>
Капралова Виктория Игоревна	<i>Техника ғылымдарының докторы</i>
Раимбекова Айнур Сагинжанқызы	<i>Техника ғылымдарының магистрі</i>
Мотовилов Игорь Юрьевич	<i>Философия докторы (PhD)</i>
Ибраимова Гульнур Талипбаевна	<i>Техника ғылымдарының магистрі</i>
Ихсан Нурай Арманқызы	<i>4-ші оқу жылының студенті, 6B07116 БББ</i>
Кузнецов Валерий	<i>2-ші оқу жылының студенті, 6B07116 БББ</i>

Список литературы:

- Нурпеисова М.Б., Естемесов З.А., Бекбасаров Ш.С. Переработка отходов – одно из ключевых направлений развития бизнеса. *Сб. трудов МНК «Инновационные технологии в геoinформационной цифровой инженерии, Алматы, КазННТУ. 2022*, 191-198.
- Уженов Б.С., Мазуров А.К., Селифонов Е.М. и др. Состояние сырьевой базы железных, марганцевых и хромитовых руд Казахстана и перспективы развития черной металлургии на период до 2030 года. *Индустрия Казахстана, 2003*, №10(18), 23-24. DOI: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=vhsnhr>
- Балашов В.В. Ресурсы отвалов и отходов обогащения предприятий горной и металлургической промышленности. *Черн. мет-гия. Бюл. ин-та «Черметинформация». 1993*, №7, 20-27.
- Нефедова И.Н., Лотов В.А., Крашенинникова Н.С. Техногенные отходы как дополнительный источник сырья. *Успехи современного естествознания.*, **2004**, №4, 148-149. DOI: <https://natural-sciences.ru/article/view?id=12590>
- Нурпеисова М.Б., Темірханов К.К., Габбасов С.Г. Техногенные отходы – вторичное сырье. *Сб. материалов международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 19», посвященной 110-летию М.А. Гендельмана». 2023*, Т. I, Ч. IV, 312-316. ISBN: 978-601-257-234-6. DOI: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=herhlp>
- Информационный обзор по результатам ведения Государственного кадастра отходов за 2021 год (*ecogofond.kz*). DOI: https://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2022/12/Informacionnyj-obzor_2021.pdf
- Шаповалов В.В., Козырь Д.А. Ресурсосберегающая технология утилизации породных отвалов горнодобывающих производств. *Известия Томского политехнического университета, Инжиниринг георесурсов.*, **2023**, Т. 334, №4, 175-184. DOI:10.18799/24131830/2023/4/3965
- Salguero E, Grande J.A., Vabnte T, Garrido R., Мл. de К Топе., Fortes J.C., Sanchez A. Recycling of manganese gangue materials from waste-dumps in the Iberian Pyrite Bex - Application as filler for concrete production. *Construction and Building Materials.*, **2014**. vol. 54. 363-368. DOI:10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.12.082
- Kubekova S.N., Kapralova V.I., Ibraimova G.T., Raimbekova A.S. Mechanically activated silicon-phosphorus fertilisers based on the natural and anthropogenic raw materials of Kazakhstan.

Journal of Physics and Chemistry of Solids., **2022**, Volume 162, 110518.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpics.2021.110518>

10. Ужкенов Б.С., Мазуров А.К., Селифонов Е.М. и др. Состояние сырьевой базы железных, марганцевых и хромитовых руд Казахстана и перспективы развития черной металлургии на период до 2030 года. *Индустрия Казахстана*. **2003**, №10(18), 23-24.
DOI: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=vhsnrx>

11. Герасимов А.А. Фосфатирование и окислирование сталей, цинковых покрытий и сплавов. *Коррозия: материалы, защита*. **2008**, №11, 42-44.
DOI: <https://library.bmstu.ru/Catalog/Details/198866>

12. Хаин И.И. Теория и практика фосфатирования металлов. *Л. Химия*. **1973**.
DOI: <https://i.twirpx.link/file/2447900/>

13. Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод. *Л. Химия*, **1973**. DOI: <https://urss.ru/cgi-bin/db.pl?lang=Ru&blang=ru&page=Book&id=276029>

References

1. Nurpeisova M.B., Estemesov Z.A, Bekbasarov Sh.S. Waste recycling is one of the key areas of business development. *Sat. proceedings of MNC "Innovative technologies in geoinformation digital engineering", Almaty: KazNITU*. **2022**, 191-198. (In Russian).

2. Uzhkenov B.S., Mazurov A.K., Selifonov E.M. et al. State of the raw material base of iron, manganese and chromite ores in Kazakhstan and prospects for the development of ferrous metallurgy for the period until 2030. *Industry of Kazakhstan*. **2003**, №10(18), 23-24. DOI: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=vhsnrx>

3. Balashov V.V. Resources of dumps and processing waste from mining and metallurgical industries. *Black met-giya. Bull. Institute "Chermetinformatsiya"*. **1993**, №7, 20-27. (In Russian).

4. Nefedova I.N., Lotov V.A., Krashennnikova N.S. Technogenic waste as an additional source of raw materials. *Advances of modern natural science*. **2004**, №4, 148-149. DOI: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=12590>

5. Nurpeisova M.B., Temirkhanov K.K., Gabbasov S.G. Technogenic waste – secondary raw materials. *Collection of materials from the international scientific and practical conference "Seifullin Readings – 19", dedicated to the 110th anniversary of M.A. Gendelman"*. **2023**, T. I, Part IV, 312-316. ISBN: 978-601-257-234-6. DOI: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=herhlp>

6. Information review on the results of maintaining the State Waste Cadastre for 2021 (*ecogofond.kz*). DOI: https://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2022/12/Informacionnyj-obzor_2021.pdf

7. Shapovalov V.V., Kozyr D.A. Resource-saving technology for recycling rock dumps from mining industries. *News of Tomsk Polytechnic University, Engineering of Georesources*, **2023**, T. 334. №4, 175-184. DOI: [10.18799/24131830/2023/4/3965](https://doi.org/10.18799/24131830/2023/4/3965)

8. Salguero E, Grande J.A., Vabnte T, Garrido R., М.Л. de К Топе,., Fortes J.C., Sanchez A. Recycling of manganese gangue materials from waste-dumps in the Iberian Pyrite Bex - Application as filler for concrete production. *Construction and Building Materials*. **2014**. vol. 54. 363-368. DOI: [10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.12.082](https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.12.082)

9. Kubekova S.N., Kapralova V.I., Ibraimova G.T., Raimbekova A.S. Mechanically activated silicon-phosphorus fertilisers based on the natural and anthropogenic raw materials of Kazakhstan. *Journal of Physics and Chemistry of Solids.*, **2022**, Volume 162, 110518.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpics.2021.110518>

10. Uzhkenov B.S., Mazurov A.K., Selifonov E.M. et al. State of the raw material base of iron, manganese and chromite ores in Kazakhstan and prospects for the development of ferrous metallurgy for the period until 2030. *Industry of Kazakhstan*. **2003**, №10(18), 23-24. DOI: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=vhsnrx>

11. Gerasimov A.A. Phosphating and oxidation of steels, zinc coatings and alloys. *Corrosion: materials, protection* **2008**, №11, 42-44. DOI: <https://library.bmstu.ru/Catalog/Details/198866>

12. Khain I.I. Theory and practice of metal phosphating. *L. Chemistry*. **1973**. DOI: <https://i.twirpx.link/file/2447900/>

13. Lurie Y.Y. Unified methods of water analysis. Ed. Prof. *L. Chemistry*. **1973**. DOI: <https://urss.ru/cgi-bin/db.pl?lang=Ru&blang=ru&page=Book&id=276029>

ELECTROCHEMICAL AND CONFORMATIONAL PROPERTIES OF POLYACRYLIC ACID AND POLY-2-METHYL-5-VINYLPYRIDINE HYDROGELS DURING THEIR REMOTE INTERACTION IN AQUEOUS ENVIRONMENT

T.K.J umadilov^{1,2}, M.T. Suleimenova^{1,2*}, J.V. Gražulevičius³

¹A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences JSC, Almaty, Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

³Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania

*E-mail: suleimenova.te@gmail.com

Abstract. *Introduction.* Previous research on the intergel system of polyacrylic acid (PAA) and polyethyleneimine (PEI) revealed that at a hydrogel ratio of 3:3, significant activation occurs at 24 hours. This indicates substantial changes in electrochemical and conformational properties at this ratio. *The purpose* of this research is to investigate the remote interaction between the weak polyelectrolyte polyacrylic acid (PAA) and the weak polybase poly-2-methyl-5-vinylpyridine (P2M5VP) over time and at various molar ratios in an aqueous environment. The study seeks to explore the activation potential of these hydrogels by analyzing their electrochemical properties using conductometry and pH-metry, and to determine the effect of molar ratios on the specific conductivity and swelling degree of the hydrogels. *The obtained results.* The maximum conductivity of 14.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ was achieved at a ratio of 2:4 at 2.5 hours, coinciding with the minimum pH value of 4.4. In the 6:0 ratio, where only the PAA hydrogel is present, the conductivity changes remained minimal within the range of 1-2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicating the stability of this hydrogel in the absence of P2M5VP. The swelling coefficient also exhibited interesting dynamic changes depending on the time and component ratios. The swelling coefficient of PAA remained stable at 11-14 for the individual hydrogel but showed a maximum value of 41 at a ratio of 1:5 after 24 hours, indicating significant interaction between the hydrogels. The maximum swelling coefficient of P2M5VP, 7.5 and 7.6, was observed at ratios of 5:1 and 2:4, respectively, 2.5 hours into the study, suggesting optimal interaction of the hydrogels during these time intervals. *Conclusion.* The studies showed that initial differences in conductivity are minimal; however, significant changes occur over time due to intermolecular interactions between the components. The obtained results can be useful for optimizing the sorption properties of hydrogels in metal extraction processes.

Key words: swelling coefficient, remote effect, intergel system, hydrogels, specific conductivity, pH value.

Jumadilov Talkybek Kozhatayevich

Doctor of Chemical Sciences, Professor;

E-mail: jumadilov@mail.ru

Suleimenova Meruyert Turekhanovna

PhD student; E-mail: suleimenova.te@gmail.com

Gražulevičius Juozas Vidas

Doctor of Chemical Sciences, Professor;

E-mail: juozas.grazulevicius@ktu.lt

Citation: Jumadilov T.K., Suleimenova M.T., Gražulevičius J.V. Electrochemical and conformational properties of polyacrylic acid and poly-2-methyl-5-vinylpyridine hydrogels during their remote interaction in aqueous environment. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 4(88), 57-65. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.48>

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ И КОНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГИДРОГЕЛЕЙ ПОЛИАКРИЛОВАЯ КИСЛОТА И ПОЛИ-2-МЕТИЛ-5-ВИНИЛПИРИДИН ПРИ ИХ УДАЛЕННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Т.К. Джумадилов^{1,2}, М.Т. Сулейменова^{1,2}, Ю.В. Гражулявичюс³*

¹АО «Институт химических наук имени А.Б. Бектурова», Алматы, Казахстан

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

³Каунасский технологический университет, Каунас, Литва

*E-mail: suleimenova.te@gmail.com

Резюме. *Введение.* Исследованием проведенное ранее интергелевой системой полиакриловая кислота и полиэтиленмин (гПАК:гПЭИ) выявлено, что при соотношении гидрогелей 3:3, на 24 часу исследования происходит активация в максимальной степени и указывает на то, что в данном соотношении происходит значительные изменения в электрохимических и конформационных значениях. *Цель работы* – изучить дистанционное взаимодействие между слабым полиэлектролитом полиакриловой кислоты (гПАК) и слабым полиоснованием поли-2-метил-5-винилпиридином (гП2М5ВП) в зависимости от времени и их различных мольных соотношений в водной среде. Исследовать возможность активации данных гидрогелей путем анализа их электрохимических свойств с помощью методов кондуктометрии и рН-метрии, а также определить влияние мольных соотношений компонентов на удельную электропроводность и степень набухания гидрогелей. *Полученные результаты.* Максимальное значение электропроводности 14.4мкСм/см достигается при соотношении 2:4 на 2.5 часу, что совпадает с минимальным значением рН 4.4. В соотношении 6:0, где присутствует только гидрогель ПАК, изменения в электропроводности остаются минимальными в пределах 1-2мкСм/см, что свидетельствует о стабильности этого гидрогеля в отсутствие П2М5ВП. Коэффициент набухания также показывает интересные динамические изменения в зависимости от времени и соотношения компонентов. Коэффициент набухания гПАК остается стабильным при присутствии индивидуального гидрогеля в пределах 11-14, но показывает максимальное значение 41 при соотношении 1:5 через 24 часа, что свидетельствует о значительном взаимодействии между гидрогелями. Максимальный коэффициент набухания гП2М5ВП 7.5 и 7.6 наблюдается при соотношениях 5:1 и 2:4 соответственно, через 2.5 часа начала исследования, что указывает на оптимальное взаимодействие гидрогелей в эти временные промежутки. *Вывод.* Исследования показали, что на начальном этапе различия в электропроводности незначительны, однако, с течением времени, наблюдаются значительные изменения, связанные с межмолекулярным взаимодействием компонентов. Полученные результаты могут быть полезны для оптимизации сорбционных свойств гидрогелей в процессах извлечения металлов.

Ключевые слова: коэффициент набухания, эффект дальнего действия, интергелевая система, гидрогели, удельная электропроводность, показатель рН.

Джумадилов Талқыбек Қожатаевич *Доктор химических наук, профессор*

Сулейменова Меруерт Турехановна *PhD докторант*

Гражулявичюс Юозас Видас *Доктор химических наук, профессор*

1. Введение

Гидрогели являются перспективными материалами для использования в различных целях благодаря их способности к значительному набуханию в водных средах, высокой сорбционной емкости и регулируемым физико-химическим свойствам, они способны поглощать и удерживать большое количество воды в полностью гидратированном состоянии [1-5]. Их уникальные структурные особенности позволяют удерживать воду в

количествах, достигающих тысячекратного увеличения от их сухого веса, начиная с нижнего предела в 10–20%. Эти материалы также обладают такими свойствами, как изменение объема и влиять на электропроводность и pH окружающей среды за счёт ионообмена, поглощения и высвобождения ионов [6-7].

Электропроводность является ключевым параметром, отражающим ионную проводимость среды, и может служить индикатором структурных и функциональных изменений в межмолекулярном взаимодействии полимерных цепей. pH среды играет важную роль в поведении гидрогелей. ПАК и П2М5ВП обладают кислотными и основными свойствами соответственно, что приводит к сложным взаимодействиям между ними и окружающей их средой. Некоторые из факторов, влияющих на электропроводность и набухание гидрогелей, включают pH, ионную силу, температуру и электромагнитное излучение [8-9].

Гидрогели также могут демонстрировать поведение набухания, зависящее от внешней среды [10-11]. Коэффициент набухания определяется как отношение объема набухшего гидрогеля к его сухому объему и сильно зависит от химического состава и структуры полимерной сети, а также от внешних условий, таких как температура, ионная сила и pH раствора [12]. В интергелевых системах ПАК:П2М5ВП набухание может регулироваться за счет взаимодействий между функциональными группами полимеров, что позволяет создавать материалы с заданными свойствами для конкретных применений. Высокий коэффициент набухания обеспечивает увеличение поверхности взаимодействия между гидрогелем и ионами металлов, что способствует более эффективной сорбции.

Таким образом, исследование электропроводности, pH и коэффициента набухания интергелевых систем ПАК:П2М5ВП представляет активацию двух сшитых полиэлектролитов на пути к созданию новых функциональных материалов. В данной работе рассматриваются основные механизмы, лежащие в основе этих свойств, и их взаимосвязь, что позволит углубить наше понимание поведения гидрогелей и расширить область их применения в металлургической промышленности.

2. Экспериментальная часть

Объект исследования: Гидрогели ПАК и П2М5ВП. На их основе была создана интергелевая система с различными мольными соотношениями. Исследование интергелевой системы проводилось следующим образом.

1) Каждый гидрогель, массу которого предварительно измеряли, помещали в отдельные полипропиленовые ячейки. Пores ячеек были проницаемы для низкомолекулярных ионов и молекул, но непроницаемы для дисперсии гидрогелей.

2) Полипропиленовые ячейки с гидрогелями, помещали в стаканы с дистиллированной водой, располагая их на расстоянии 2 см друг от друга.

3) Электрохимические изменения в водном растворе измерялись через различные промежутки времени. Показатели электропроводности и pH водной среды, определяли после извлечения полипропиленовых ячеек с гидрогелями из стаканов. Степень набухания гидрогелей для определения их исходных конформационных свойств рассчитывалась по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{m_2 - m_1}{m_1}$$

где m_1 – масса сухого гидрогеля, m_2 – масса набухшего гидрогеля

Оборудование: Для измерения электропроводности был использован кондуктометр «МАРК 603» (Россия) и pH-метр Metrohm 827 pH-Lab (Швейцария). Массу набухших образцов гидрогелей для последующего расчета степени набухания (α) измеряли с помощью электронных аналитических весов SHIMADZU AY220 (Япония). Эксперименты проводились в дистиллированной воде, при комнатной температуре.

3. Результаты и обсуждения

На рисунке 1 показана зависимость электропроводности водной среды интерполимерной системы гПАК:гП2М5ВП от соотношения и от времени. Исследование проводилось в течении одной сутки. На протяжении первого часа исследования различия в электропроводности растворов, независимо от соотношений гидрогелей, не являются значительными. Однако, с течением времени наблюдается изменение электропроводности, причем в некоторых соотношениях появляются явные пики максимумов и минимумов. Это может указывать на сложные процессы взаимодействия между компонентами, влияющие на электропроводность. Наблюдается значительный рост электропроводности для системы на 2,5 часу исследования, что может свидетельствовать о начале образования ионных пар и улучшении ионной проводимости.

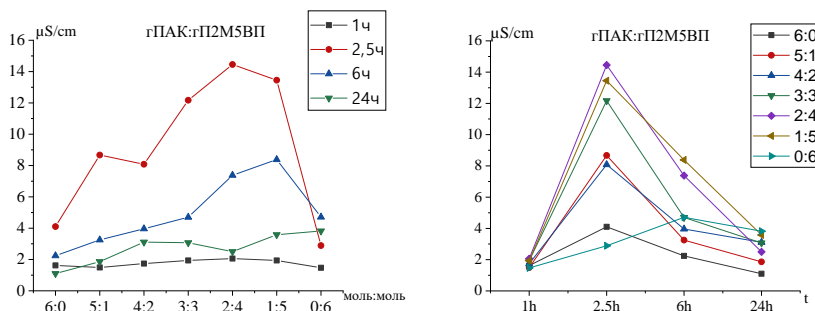


Рисунок 1 – зависимость электропроводности водной среды интерполимерной системы ПАК:П2М5ВП от соотношения и от времени в водной среде.

На рисунке видно, через 2.5 часов во всех соотношениях электропроводность возрастает, максимальное значение 14.4мкСм/см наблюдается при соотношении 2:4, в то время как водородный показатель водной среды соотношении 2:4 достигает минимального значения. В интерполимерной среде усиливает взаимодействие между гидрофильными группами гидрогелей и ионами в растворе, что способствует увеличению электропроводности и снижению pH среды за счет роста концентрации ионов водорода. Также замечено, что отсутствие второго гидрогеля в случаях, когда в растворе присутствует только один тип полимера, приводит к тому, что раствор не может перейти в высокоионизированное состояние, что обуславливает минимальные значения электропроводности. Также интерес представляет наблюдение, что в присутствии индивидуального гидрогеля ПАК изменения в электропроводности по сравнению с начальным и конечным моментом времени исследования не являются выраженными. Это может свидетельствовать о стабильности данного гидрогеля в водном растворе без участия гидрогеля П2М5ВП.

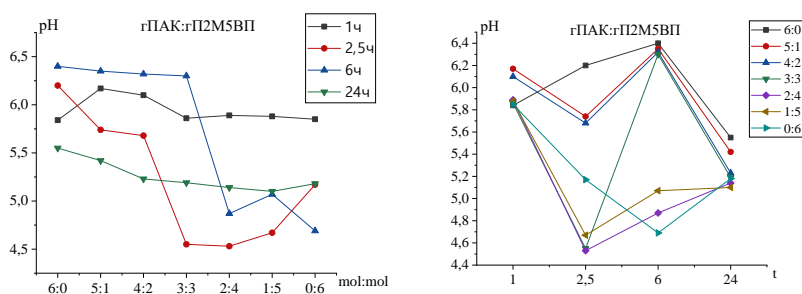


Рисунок 2 – зависимость значения pH водной среды интерполимерной системы ПАК:П2М5ВП от соотношении и от времени в водной среде

На рисунке 2 показано изменение концентрации водорода водной среды в зависимости от мольных соотношении гидрогелей и в различные временные промежутки, в присутствии интергелевой системы гПАК:гП2М5ВП. В течение первого часа pH водной среды остается относительно стабильным при различных соотношениях гидрогелей, оставаясь в пределах от 5.8 до 6,2, что указывает на низкую кислотность среды. Со временем pH среды испытывает заметные изменения. При соотношении 6:0, где присутствует индивидуальный гидрогель ПАК, значение pH остается более стабильным и в пределах нейтральной до слабощелочной даже через 24 часа. В соотношении 2:4, pH среды падает до значений около 4.5 через 2.5 часа, что представляет собой самое низкое значение pH на графике и указывает на значительное усиление кислотность среды. Значительные изменения pH могут быть результатом процессов диссоциации и ассоциации функциональных групп гидрогелей, а также

образования новых ионных пар и изменений в степени их гидратации. Интересный взгляд представляет соотношение 1:5 (где доминирует гП2М5ВП), где после изначального снижения рН через 2,5 часа происходит его повышение к 6-му часу исследования и оставаться стабильным в течении 24 часов. Эти данные могут свидетельствовать о том, что взаимодействие между гидрогелями ПАК и П2М5ВП приводит к изменению ионной активности и рН среды в зависимости от их соотношения и времени взаимодействия.

На рисунке 3 приведен график зависимости степени набухания гПАК в присутствии гидрогеля П2М5ВП от соотношения и от времени в водной среде. Наблюдение изменений в коэффициенте набухания гПАК в различные временные интервалы позволяет выявить интересные закономерности, которые могут быть полезны для понимания взаимодействия между гидрогелями и их способностью к абсорбции воды. При соотношении 6:0, то есть когда в растворе присутствует только гПАК, коэффициент набухания остается относительно стабильным и невысоким во всех временных промежутках. Это указывает на ограниченную способность гПАК к абсорбции воды в отсутствие гП2М5ВП. Соотношение 1:5, где преобладает гП2М5ВП, показывает максимальное значение коэффициента набухания на 24 часа измерения.

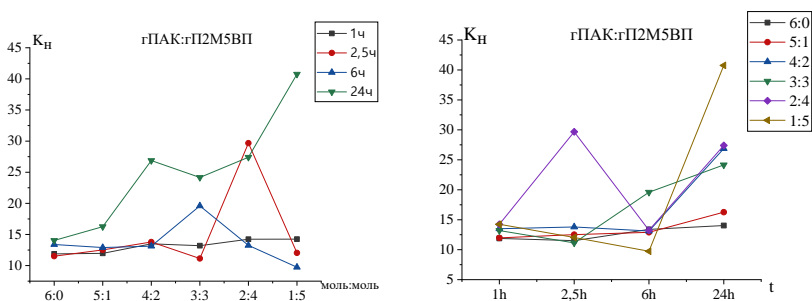


Рисунок 3 - Зависимость степени набухания гПАК в присутствии гидрогеля П2М5ВП от соотношения и от времени в водной среде

Значительные колебания коэффициента набухания наблюдаются при соотношениях 3:3 и 2:4. Это может свидетельствовать о комплексном взаимодействии между гПАК и гП2М5ВП, которое приводит к изменениям в структуре и свойствах гидрогелей, влияющих на их способность к набуханию. Самый интересный результат отмечен при соотношении 1:5 и временном интервале в 24 часа, где коэффициент набухания резко возрастает. Предполагается, что такие результаты могут быть связаны с формированием межсетчатых связей, изменением степени ионизации групп в гидрогелях и другими молекулярными процессами, происходящими при их взаимодействии в водной среде.

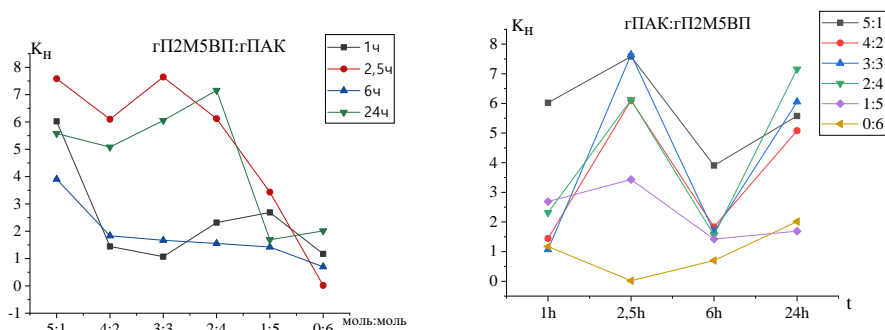


Рисунок 4 - зависимость степени набухания гП2М5ВП в присутствии гидрогеля ПАК от соотношения и от времени в водной среде

На рисунке 4 приведены изменения коэффициента набухания гидрогеля П2М5ВП в зависимости от соотношения с гидрогелем ПАК в течение различных временных интервалов. В начальные моменты эксперимента наблюдается резкое увеличение K_n для всех соотношений, за исключением 0:6, что свидетельствует о быстром начальном набухании П2М5ВП. Максимальные значения K_n достигаются на временном интервале 2.5 часа почти для всех соотношений, причем наибольшее значение наблюдается при соотношениях 5:1 и 3:3, что указывает на оптимальное взаимодействие гидрогелей. Дальнейшая динамика показывает, что на временном интервале 6 часов происходит снижение K_n для большинства соотношений, указывая на процессы перераспределения воды и временную перегруппировку полимерных цепей. Вторичное увеличение K_n на 24 часа наблюдается для всех соотношений, кроме 1:5. Соотношение 0:6 показывает наименьшую способность к набуханию, с минимальным значением K_n на 1 часе и незначительным увеличением до 2 на 24 часах, что подчеркивает важность присутствия ПАК для значительного набухания. Временная зависимость набухания подтверждает наличие различных этапов, включая начальную фазу быстрого набухания, промежуточное равновесие и долгосрочную стабилизацию.

4. Заключение

На основании проведенных исследований установлена зависимость изменения электрохимических и гидродинамических свойств гидрогелей ПАК:П2М5ВП при удаленном взаимодействии в водной среде. Соотношение гидрогелей 2:4 в ходе исследования показало максимальную электропроводность, оптимальный pH среды и высокую способность к набуханию на 2.5 часу. Исследование показало, что взаимодействие гидрогелей ПАК и П2М5ВП в водной среде значительно влияет на такие параметры, как электропроводность, pH и степень набухания. Максимальное значение электропроводности указывает на интенсивное

снижение концентрации противоионов с образованием молекулы воды. Значительное снижение рН в этом соотношении свидетельствует о росте концентрации ионов водорода.

Финансирование: Данная работа была профинансирована Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21882220).

Конфликт интересов: Все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ҚАШЫҚТАН ӘРЕКЕТТЕСУ БАРЫСЫНДА ПОЛИАКРИЛ ҚЫШҚЫЛЫ ЖӘНЕ ПОЛИ-2-МЕТИЛ-5-ВИНИЛПИРИДИН ГИДРОГЕЛЬДЕРІНІҢ СУ ОРТАСЫНДАҒЫ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ КОНФОРМАЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНІҢ ӨЗГЕРІСІН ЗЕРТТЕУ

Т.К. Джумадилов^{1,2}, М.Т. Сулейменова^{1,2*}, Ю.В. Гражулявичюс³

¹«Ә.Б.Бектұров атындағы химия ғылымдары институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

³Каунас технологиялық университеті, Каунас, Литва

*E-mail: suleimenova.te@gmail.com

Түйіндемe. *Кіріспе.* Полиакрил қышқылы және полиэтиленимин (гПАК:гПЭИ) интергельдік жүйесі бойынша жүргізілген алдыңғы зерттеулерде гидрогельдердің 3:3 қатынасында 24 сағатта максималды белсендіру байқалғаны анықталды, бұл осы қатынаста электрохимиялық және конформациялық қасиеттердің елеулі өзгерістерін көрсетеді. *Жұмыстың мақсаты* – уақыт пен гидрогельдердің әртүрлі молярлық қатынастарына байланысты әлсіз полиэлектрлит полиакрил қышқылы (гПАК) мен әлсіз полинегіз поли-2-метил-5-винилпиридин (гП2М5ВП) арасындағы қашықтан өзара әрекеттесуін зерттеу. Бұл гидрогельдерді кондуктометрия және рН-метрия әдістерімен олардың электрохимиялық қасиеттерін талдау арқылы белсендіру мүмкіндігін зерттеу, сондай-ақ компоненттердің молярлық қатынастарының гидрогельдердің меншікті электрөткізгіштігі мен ісіну дәрежесіне әсерін анықтау. *Алынған нәтижелер.* Максималды электрөткізгіштік мәні 14.4 мкСм/см 2:4 қатынасында 2.5 сағатта жетеді, бұл рН көрсеткішінің минималды мәнімен 4.4 сәйкес келеді. Тек ПАК гидрогелі бар 6:0 қатынасында электрөткізгіштіктің өзгерістері минималды деңгейде 1-2 мкСм/см шегінде қалған, бұл П2М5ВП гидрогелі болмаған жағдайда ПАК гидрогелінің тұрақтылығын көрсетеді. Ісіну коэффициенті де уақыт пен гидрогельдердің мольдік қатынасына байланысты динамикалық өзгерістерді көрсетті. Индивидуалды гидрогелдің қатысында гПАК ісіну коэффициенті 11-14 шегінде тұрақты болып қалады, бірақ 24 сағатта 1:5 қатынасында максималды мәні 41 көрсетеді, бұл гидрогельдердің арасындағы айтарлықтай өзара әрекеттесудің бар болуын болжауға мүмкіндік береді. гП2М5ВП-нің максималды ісіну коэффициенті 7.5 және 7.6 сәйкесінше 5:1 және 2:4 қатынастарында зерттеудің 2.5 сағатында байқалады, бұл осы уақыт аралықтарында гидрогельдердің оңтайлы өзара әрекеттесуін көрсетеді. *Қорытынды.* Зерттеулердің нәтижелері бойынша бастапқы кезеңде су ортасының электрөткізгіштігінде айтарлықтай айырмашылықтар байқалмады, бірақ уақыт өте келе компоненттердің молекулаларлық өзара әрекеттестігіне байланысты елеулі өзгерістер байқалады. Алынған нәтижелер гидрогельдердің сорбциялық қасиеттерін металдарды алу процестерінде оңтайландыру үшін пайдалы болуы мүмкін.

Түйін сөздер: ісіну коэффициенті, қашықтан әрекеттесу эффектісі, интергельді жүйе, гидрогельдер, меншікті электрөткізгіштік, рН көрсеткіші.

Джумадилов Талқыбек Қожатайұлы

Химия ғылымдарының докторы, профессор

Сулейменова Меруерт Туреханқызы

PhD докторант

Гражулявичюс Юозас Видас

Химия ғылымдарының докторы, профессор

References

1. Ahmed, E. M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *J. Adv. Res.* **2015**, 6(2), 105-12. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006>
2. Enas M. Ahmed., Fatma S. Aggor., Ahmed M. Awad., Ahmed T. El-Aref. An innovative method for preparation of nanometal hydroxide superabsorbent hydrogel. *Carbohydr. Polym.*, 91(2), **2013**, 693-698. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.08.056>
3. Joshy, K.S., Snigdha. S., Thomas. S., Li, T. An Overview of the Recent Developments in Hydrogels. *Nano Hydrogels. Gels Horiz.* **2021**, 231-246. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7138-1_13
4. Hennink WE, van Nostrum CF. Novel crosslinking methods to design hydrogels. *Adv Drug Deliv Rev.* **2002**, Jan 17;54(1):13-36. doi: [http://doi.org/10.1016/s0169-409x\(01\)00240-x](http://doi.org/10.1016/s0169-409x(01)00240-x)
5. Jose. J., Athira. V.P., Michel. H., Hafeela. A.R., Bhat. S.G., Thomas. S., Pereira. M.L. Hydrogels: An overview of the history, classification, principles, applications, and kinetics. *Sustain.Hydrogels.* **2023**, 1–22. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91753-7.00005-3>
6. Hoffman, A. S. (2012). Hydrogels for biomedical applications. *Adv. Drug Deliv. Rev.*, 64, 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2012.09.010>.
7. Sannino A., Demitri C., Madaghiele M. Biodegradable Cellulose-based Hydrogels: Design and Applications. *Materials (Basel)*, **2009**, Apr 16; 2(2): 353–73. <https://doi:10.3390/ma2020353>. PMID: PMC5445704.
8. Jumadilov. T.K., Imangazy. A.M., Khimersen. K., Haponiuk, J.T. Remote interaction effect of industrial ion exchangers on the electrochemical and sorption equilibrium in scandium sulfate solution. *Polym. Bull.* **2023**, DOI <https://doi.org/10.1007/s00289-023-04800-x>
9. Peppas. N. A., Bures. P., Leobandung. W., Ichikawa. H. Hydrogels in pharmaceutical formulations. *Eur. J. Pharm. Biopharm.* **2000**, 50(1), 27-46. [https://doi.org/10.1016/S0939-6411\(00\)00090-4](https://doi.org/10.1016/S0939-6411(00)00090-4)
10. Liu. Y., Liu. Z., Wei. Q., Wei. A., Li. J. Effects of ionic strength on the swelling behavior and drug release properties of poly(acrylic acid-co-acrylamide) hydrogel. *J. Appl. Polym. Sci.* **2013**, 128(3), 1461-1468. <https://doi.org/10.1002/app.38249>
11. Joshy. K.S., Snigdha. S., Thomas. S., Li, T. An Overview of the Recent Developments in Hydrogels. In: Jose, J., Thomas, S., Thakur, V.K. (eds) *Nano Hydrogels. Gels Horizons.* **2021**, https://doi.org/10.1007/978-981-15-7138-1_13
12. Talkybek. J., Khuangul. K., Jozef. H. Influence of Initial States on the Electrochemical Behavior of Industrial Ionites in the Interpolymer System Lewatit CNPLF-AB-17-8. *Adv. Polym. Struct.: Chem. Eng. Appl.*, **2023**, 83–95. DOI <https://doi.org/10.1201/9781003352181-9>

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF NANOPARTICLE COMPOSITES ON OIL DISPLACEMENT EFFICIENCY

R. Sarsembekova¹, P. Pourafshary², A. Sharipova³, M. Issakhov^{1*}, A. Issayeva¹, D. Argimbayev¹

¹ Kazakh-British Technical University JSC, Almaty, Kazakhstan

² Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan

³ Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*E-mail: mir001@gmail.com

Abstract. *Introduction.* Development of effective, cheap and environmentally friendly methods for increasing oil recovery of reservoirs is one of the relevant problems of the oil industry all over the world due to the decrease in the extraction of oil due to the decline in reservoir energy. In this regard, various methods of increasing oil recovery in the fields are applied, including gas flooding. Enhanced oil recovery (EOR) techniques play a crucial role in maximizing oil production from reservoirs. *The purpose of this work* to investigate the integration of nanoparticles which has gained significant attention due to their potential to address challenges associated with traditional EOR methods. *Discussion.* The paper focuses on the fundamentals and application of surfactants and nanoparticle mixtures for enhancing oil recovery through CO₂ flooding. One of the key challenges when using CO₂ to increase oil production is controlling gas mobility. *Conclusion.* In this paper, the potential of using surfactants and a mixture of surfactants with nanoparticles to create a stable foam that reduces gas mobility and increases oil production is investigated.

Key words: enhanced oil recovery, nanoparticles, foam, surfactants, CO₂ flooding, interfacial tension, sol-gel method, polymers, dilational rheology

<i>Sarsembekova Raziya Aueskhanovna</i>	<i>PhD student; E-mail: raziyasarsembekova@gmail.com</i>
<i>Pourafshary Peyman</i>	<i>PhD, Professor; E-mail: peyman.pourafshary@nu.edu.kz</i>
<i>Sharipova Altynay Azigarovna</i>	<i>PhD, Research professor; E-mail: a_sharipova85@mail.ru</i>
<i>Issakhov Miras Orynbasaruly</i>	<i>PhD student; E-mail: mir001@gmail.com</i>
<i>Issayeva Assem Bakhytzhonovna</i>	<i>PhD, Scientific researcher; E-mail: isa-asm@mail.ru</i>
<i>Argimbayev Dias Adilbekuly</i>	<i>PhD student; E-mail: argimbayevd@gmail.com</i>

Citation: Sarsembekova R., Pourafshary P., Sharipova A., Issakhov M., Issayeva A., Argimbayev D. Investigation of the influence of nanoparticle composites on oil displacement efficiency. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 4(88), 66-76. DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.49>

1. Introduction

The oil industry faces two important challenges: enhanced oil recovery (EOR) and environmental protection. The effects of petroleum products on soil, water and air require special attention. A key factor in process optimization is the study of the physical and chemical properties of petroleum emulsions and soil dispersions. In this context, it is important to consider the effects of surfactants, polymers, alkalines and nanoparticles. Modern materials science is actively engaged in the development of new nanodisperse materials. The study of the formation of surface-active adsorption layers at the interface of phases, as well as picketing emulsions, is important for the prediction and development of effective EOR methods.

Injecting carbon dioxide (CO₂) into oil reservoirs has emerged as a promising technique for enhanced oil recovery (EOR). Not only does this approach enhance oil production, but it also contributes to mitigating climate change by sequestering CO₂ underground. However, one of the significant challenges faced by CO₂ injection projects is mobility control. High CO₂ mobility can lead to unfavorable and unsuccessful outcomes.

The study by Yousef et al. (2020) investigates the ability of this novel approach to generate stable foam in porous media, even at extreme conditions such as supercritical CO₂ (sc-CO₂) and high temperatures. Coreflood experiments demonstrate that the use of surfactants and surfactant-nanoparticle mixtures significantly improves oil recovery compared to traditional methods. The addition of nanoparticles to surfactants further enhances recovery rates, making this approach a promising avenue for efficient EOR [1].

Nanotechnology has emerged as a promising tool for EOR from mature reservoirs. The study by Cheraghian et al. (2020) provides a comprehensive overview of the application of nanotechnology in EOR. The authors discuss the various types of nanomaterials used in EOR, including nanoparticles, nanofluids, and nanoemulsions. They also highlight the different mechanisms by which nanomaterials can improve oil recovery, such as wettability alteration, interfacial tension reduction, and mobility control. The review also addresses the challenges and limitations associated with the use of nanotechnology in EOR, such as high costs, environmental concerns, and the need for further research and development. Overall, the study emphasizes the significant potential of nanotechnology to revolutionize EOR and contribute to sustainable oil production [2].

The use of nanoparticles in EOR has gained significant attention in recent years. The study by Iravani et al. (2023) provides a comprehensive review of the application of nanoparticles for EOR purposes, covering both the history and current challenges. The review highlights the various mechanisms by which nanoparticles can improve oil recovery, including wettability alteration, interfacial tension reduction, and mobility control. The authors also discuss the challenges associated with the use of nanoparticles in EOR, such as nanoparticle stability, transport, and retention in porous media. The review concludes by highlighting the potential of nanoparticles to revolutionize EOR and the need for

further research to address the existing challenges and unlock their full potential [3].

In this paper, we delve into surfactant and nanoparticle interactions, explore their industrial applications, and discuss the potential impact on oil recovery.

2. Surface-active properties

A recent study investigated an enhanced foam-flooding system that incorporates nanoparticles and polymers under geological conditions of a reservoir.

2.1 Foam Formulation

The system primarily consists of an anionic foaming agent (CQS-1) and a nonionic surfactant (FH-1). Researchers screened 17 foams based on foaming volumes and foam half-lives. Nanoparticles were selected after evaluating each foam's concentration, the ratio of the main agent to the auxiliary agent, and the foam stabilizer dosage [4].

2.2 Microstructure and Rheological Properties

The selected system's microstructure and rheological properties were analyzed. This included assessing the reservoir's adaptability to temperature resistance, salt tolerance, and adsorption resistance. The study supported the field application of CO₂ foam flooding.

Surface dilational rheology is a critical aspect of foam behavior. It involves determining the surface dilational moduli by observing changes in surface tensions and interface area during bubble sinusoidal oscillation (Hongsheng, et al., 2016). Understanding these properties helps optimize foam stability and performance [5].

Surfactant properties play a key role in the processes of improving oil production using mixtures of surfactants and nanoparticles. Let's look at some aspects related to this topic:

Surface tension: Surfactants reduce the surface tension between oil and water, which contributes to the formation of effective foam systems. This makes it possible to increase the contact between the phases and improve oil production.

Stabilization of foaming: Surfactants and nanoparticles stabilize foaming in the CO₂/water system. This helps to reduce CO₂ mobility and increase oil production.

Research in this area is ongoing, and understanding the surface-active properties of surfactant and nanoparticle mixtures will help develop more effective methods to improve oil production.

2.2.1 Interfacial Tension Reduction

The interfacial tension (IFT) between CO₂ and crude oil is a critical factor influencing the success of CO₂ flooding in enhanced oil recovery (EOR). The injection of CO₂ into a reservoir can lead to a reduction in IFT, promoting better miscibility and mobilization of the trapped oil. The extent of this IFT reduction is significantly influenced by both pressure and temperature, as highlighted in the study by Yang et al. (2015) [6].

The Impact of Pressure

The researchers observed a general trend of decreasing IFT with increasing pressure, which can be attributed to the enhanced solubility of CO₂ in the oil phase at higher pressures. This increased solubility leads to swelling of the oil and a reduction in its viscosity, facilitating its flow through the reservoir. However, the presence of heavy components, such as asphaltenes and resins, in crude oil can hinder this IFT reduction at elevated pressures. The study observed that the IFT reduction rate slowed down considerably at higher pressures, particularly for heavier crude oils. This phenomenon can be attributed to the precipitation of asphaltenes at high pressures, which can adversely affect the interfacial properties and hinder oil recovery.

The Impact of Temperature

Temperature also plays a significant role in influencing IFT. The study revealed that increasing temperature generally leads to a further decrease in IFT. This behavior can be explained by the increased molecular motion and decreased viscosity of the fluids at higher temperatures, which promotes better mixing and interaction between CO₂ and oil.

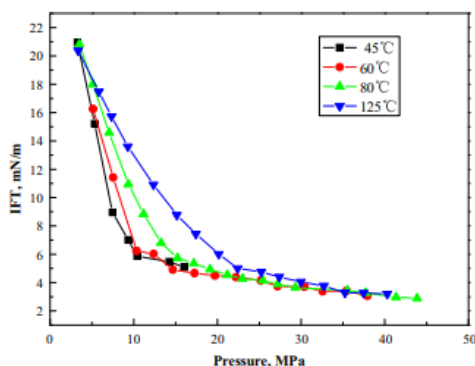


Figure 1 - Interfacial Tension of CO₂ + Crude Oil Systems at Different Temperatures

The figure 1 shows that interfacial tension leads to pressure change for the state of crude oils. In addition, the rate of regulation of interfacial tension is also dependent on temperature, with higher temperatures resulting in a faster initial decrease in interfacial tension.

The study by Alvarado et al. (2010) investigated the interfacial tension (IFT) between CO₂ and reservoir crude oils, as well as CO₂ and hexadecane, under high pressure and temperature conditions. The researchers observed that IFT decreased rapidly with increasing pressure initially. However, as pressure continued to rise, the decrease in IFT slowed down due to the presence of heavy components in the crude oils. The study also highlighted that ultra-low or zero IFT was not achieved in CO₂ + crude oil systems, whereas CO₂ + hexadecane systems exhibited vanishing IFT and miscibility at 318.15K [7].

2.2.2. Adsorption at Interfaces

Surfactants play a crucial role in various applications due to their unique adsorption properties and surface activities. Specifically, when surfactants adsorb at the gas-liquid interface, they form a protective monolayer around gas bubbles. This monolayer acts as a barrier, effectively preventing gas bubble coalescence and drainage (Yang, et al., 2015). The phenomenon of surfactant adsorption at solid/liquid interfaces is also of interest, as it significantly influences the wettability of solid surfaces and provides stability to dispersions of solid particles in liquids [6].

3. Methods of stabilizing CO₂ foam

During CO₂ flooding of oil reservoirs, foam stabilization plays a crucial role. Foam reduces the mobility of injected CO₂, inhibits gas channeling, and improves sweep efficiency. There are several methods of foam stabilization (Hartono, et al., 2024) [8].

3.1 Sol-Gel Method

The stability of CO₂ foam is essential for its effectiveness in various applications, including enhanced oil recovery (EOR) and in-situ carbonation. The study by Ngo et al. (2024) explored the use of a sol-gel method to stabilize CO₂ foam for enhanced in-situ carbonation in foamed fly ash backfill materials. The researchers found that the addition of CO₂ and sodium silicate (SS) to an anionic surfactant solution led to the formation of a stable foam with reduced drainage and strengthened liquid films. The gel network formed by the reaction of SS with CO₂ further enhanced foam stability by adhering to the foam surface. The stabilized foam exhibited improved mechanical properties, making it suitable for use in foamed backfill materials. The enhanced in-situ carbonation achieved with the sol-gel-stabilized CO₂ foam has the potential to improve the strength and durability of backfill materials, contributing to more sustainable mining practices [9].

3.2 Particle/Cationic Surfactant Mixtures

Foam stability is a critical factor in various industrial processes, including enhanced oil recovery (EOR). The study by Amankeldi et al. (2023) investigated the use of surfactant/SiO₂ composite nanofluids as foam stabilizers. The researchers examined the effects of different chain lengths and concentrations of the cationic surfactant CTAB (cetyltrimethyl ammonium bromide) on the performance of CTAB-SiO₂ nanofluids. The results showed that the addition of SiO₂ nanoparticles enhanced foam stability compared to using CTAB alone. The optimal concentration of CTAB for foam stability was found to be 0.5 mM. This study highlights the potential of using surfactant/SiO₂ composite nanofluids as effective foam stabilizers in various industrial applications. Figure 2 by Amankeldi et al. (2023) visually demonstrates how the interaction between cationic surfactants and silica particles affects their behavior and, consequently, the stability of the foam. In the absence of surfactants, the particles repel each other due to the negative surface charge. As the surfactant concentration

increases, monolayer adsorption occurs, leading to hydrophobic attraction and particle flocculation. A further increase in surfactant concentration leads to the formation of a bilayer and a change in the surface charge of the particles to positive, which causes their redispersion due to electrostatic repulsion [10].

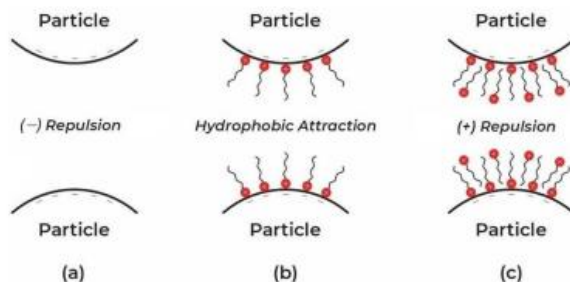


Figure 2 - Microcosmic behavior of two silica particles during different stages of surfactant adsorption: (a) without any adsorption; (b) monolayer adsorption; (c) bilayer adsorption.

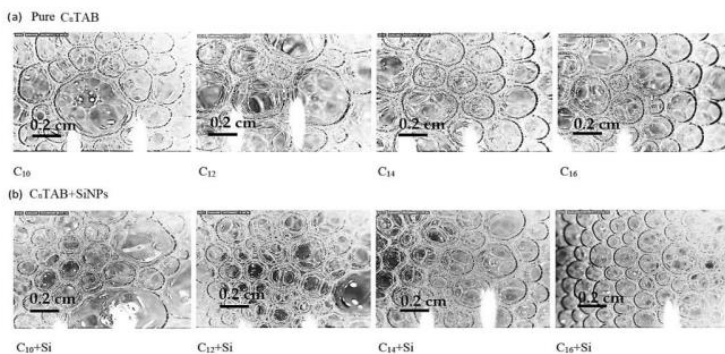


Figure 3 - Morphology of foams generated with (a) pure C_n TAB and (b) C_n TAB-SiO₂ mixed sol

Figure 3a by Amankeldi, F. et al (2023) shows the foam morphology for the pure surfactants at a concentration of 1×10^{-3} mol/L, taken 10 minutes after foam formation. It was observed that with increasing surfactant chain length, the bubble size decreased and the bubble shape became more spherical. Figure 3b shows that for all C_n TAB-SiO₂ blends, the bubbles generally appeared more spherical, more uniform and smaller, resulting in an effective packing density without significant bubble deformations [10].

3.3 Nanoparticles and Viscosifiers

Nanocellulose-based Pickering emulsions face a challenge due to the hydrophilic nature of nanocellulose, which prevents effective interactions with the oil phase. However, in research by Agustin et al. (2023) they have found a solution by incorporating lignin nanoparticles (LNPs) as co-stabilizers. These LNPs help decrease oil droplet size and slow creaming, especially at pH 5 and 8, with increasing LNP content. Interestingly, emulsification at pH 3, along with LNP cationization, leads to droplet flocculation and rapid creaming. By adding

LNPs either before or simultaneously with nanocellulose, stability improves due to enhanced interactions with the oil phase. Moreover, these Pickering emulsions can be freeze-dried, resulting in a solid macroporous foam that acts as an adsorbent for pharmaceutical pollutants. This innovative approach offers a green and cost-effective method to stabilize biphasic systems using bio-based nanomaterials without complex modification procedures [11].

4. Stabilization of Foam During CO₂ Flooding Using SiO₂ Nanoparticles

SiO₂ nanoparticles hold significant promise for enhanced oil recovery (EOR) applications. However, their initial surface properties alone are insufficient to play a substantial role in EOR. Recent studies by Iravani et al. (2023), Rizvi et al. (2024), Cheraghian et al. (2020) have demonstrated that functionalizing SiO₂ nanoparticles can significantly enhance their effectiveness in promoting EOR. As a result, there is considerable interest in exploring the application of functionalized SiO₂ nanoparticles in EOR. These functionalized nanoparticles exhibit various properties that enable mechanisms such as improved wettability, reduced interfacial tension, enhanced thermal stability, selective plugging, fluid diversion, and catalytic effects [3,12,2].

Engineered nanoparticles have shown great potential in enhancing oil recovery (EOR) due to their unique properties and ability to interact with reservoir fluids and rocks. The study by Ejike and Deumah (2022) provides a concise overview of the application of engineered nanoparticles in EOR. The authors discuss the different types of engineered nanoparticles used in EOR, including silica nanoparticles, metal oxide nanoparticles, and carbon nanotubes. They also highlight the various mechanisms by which engineered nanoparticles can improve oil recovery, such as wettability alteration, interfacial tension reduction, and mobility control. The study also addresses the challenges and opportunities associated with the use of engineered nanoparticles in EOR. The authors emphasize the importance of careful design and selection of nanoparticles to ensure their effectiveness and minimize any potential environmental impacts. Overall, the study provides a valuable overview of the current state of engineered nanoparticle applications in EOR and highlights the potential for further advancements in this field [13].

Another important outcome of the core flooding experiment was the oil recovery factor (RF) during foam flooding. Tables 1 and 2 show recovery factor during SF and NAF flooding to cores (cores 3 and 4) saturated with oil 1 and oil 2, respectively.

Table 1 – Recovery Factor (oil 1)

(no asphaltene)	Cumulative oil produced for SDS	Cumulative oil produced for SDS + NPs	Original oil in place	Recovery factor for SDS	Recovery factor for SDS + NPs
	5 ml	8.10 ml	13.36 ml	37.42 %	60.65 %

Table 2 – Recovery Factor (oil 2)

(high asphaltene)	Cumulative oil produced for SDS	Cumulative oil produced for SDS + NPs	Original oil in place	Recovery factor for SDS	Recovery factor for SDS + NPs
	4 ml	9 ml	13.19 ml	30.33 %	68.23%

The recovery factor increase from approximately 38 % to 61 % demonstrates that the foam flooding technique improved oil recovery, but its efficiency is limited without the destabilizing effect of asphaltenes. The addition of nanoparticles in the foam formulation further increases oil recovery, suggesting that nanoparticles enhance foam stability and mobility control. The recovery factor for oil 2 reached almost 69 %, indicating that nanoparticle-stabilized foam is highly effective for heavy oil with high asphaltene content. The higher recovery factor compared to synthetic oil implies that nanoparticles can counteract the destabilizing effects of asphaltenes and significantly improve foam performance.

Overall, the results underscore the importance of incorporating nanoparticles into surfactant-based foam formulations to optimize oil recovery, particularly in reservoirs with challenging oil compositions. The comparison between the two oils highlights that nanoparticle-enhanced foams can effectively increase the recovery factor by providing better stability and mobility control, even in the presence of high asphaltene content

5. Conclusion

In summary, the application of surfactants and nanoparticles in enhanced oil recovery (EOR) processes holds significant promise. By reducing interfacial tension and enhancing foam stability during CO₂ flooding, these additives improve oil recovery from reservoirs. Key areas of focus include surface-active properties, microstructure, rheological properties, and adsorption at interfaces. Additionally, methods such as the Sol-Gel approach, particle/cationic surfactant mixtures, and SiO₂ nanoparticles contribute to stabilizing CO₂ foam. Understanding the role of polymers in liquid lamellae is crucial for optimizing EOR efficiency. Overall, this research area continues to evolve, offering innovative solutions for sustainable oil production.

Acknowledgments: The work was carried out within the framework of the project of the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under the project: AP14869372 under the theme: «Development of composite foams to improve the efficiency of CO₂ flooding enhanced oil recovery».

Conflicts of interest: All authors declare that they have no conflict of interest.

НАНОБӨЛШЕК КОМПОЗИТТЕРІНІҢ МҰНАЙЕСЫСУ ТИІМДІЛІГІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Р.А.Сарсембекова¹, П. Пурафиари², М.О. Исахов^{1}, А.А.Шарипова³,
А.Б. Исаева¹, Д.А.Аргимбаев¹*

¹ «Қазақстан-Британ техникалық университеті» АҚ, Алматы, Қазақстан

² Nazarbayev university, Астана, Қазақстан

³ Satbayev university, Алматы, Қазақстан

*E-mail: mir001@gmail.com

Түйіндеме. *Кіріспе.* Мұнай өндіруді арттырудың тиімді, арзан және экологиялық таза әдістерін жасау қабат энергиясының төмендеуіне байланысты мұнай өндіру көлемінің төмендеуіне байланысты дүние жүзіндегі мұнай өнеркәсібінің өзекті мәселелерінің бірі болып табылады. Осыған байланысты кен орындарында мұнайдың берілуін арттыру үшін әртүрлі әдістер қолданылады, соның ішінде газ тасқыны. Мұнай өндірудің жетілдірілген әдістері қабаттардан мұнай өндіруді барынша арттыруда маңызды рөл атқарады. Бұл жұмыстың мақсаты мұнай өндірудің дәстүрлі жақсартылған әдістерімен байланысты мәселелерді шешуге әлеуетінің арқасында үлкен назар аударылған нанобөлшектерді пайдалануды зерттеу болып табылады. *Талқылау.* Бұл мақалада СО₂ тасқыны арқылы мұнайды жақсарту үшін беттік белсенді заттар мен нанобөлшек қоспаларының негіздері мен қолданылуы талқыланады. Мұнайдың берілуін арттыру үшін СО₂ пайдаланудағы негізгі қиындықтардың бірі газдың қозғалғыштығын бақылау болып табылады. *Қорытынды.* Бұл құжат газдың қозғалғыштығын төмендететін және мұнайдың берілуін арттыратын тұрақты көбік жасау үшін беттік-белсенді заттар мен БАЗ-нанобөлшек қоспаларын пайдалану әлеуетін зерттейді.

Түйін сөздер: жақсартылған мұнай беру, нанобөлшектер, көбік, беттік белсенді заттар, СО₂ тасқыны, фазааралық керілу, золь-гель әдісі, полимерлер, кеңею реологиясы

<i>Сарсембекова Разия Ауесхановна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Пейман Пурафиари</i>	<i>PhD, профессор</i>
<i>Шарипова Алтынай Азизаровна</i>	<i>PhD, зерттеуші профессор</i>
<i>Исахов Мирас Орынбасарұлы</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Исаева Асем Бахытжанқызы</i>	<i>PhD, ғылыми қызметкер</i>
<i>Аргимбаев Диас Адильбекулы</i>	<i>PhD докторант</i>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОЗИТОВ НАНОЧАСТИЦ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕФТЕВЫТЕСНЕНИЯ

Р.А.Сарсембекова¹, П. Пурафиари², М.О. Исахов^{1}, А.А.Шарипова³,
А.Б. Исаева¹, Д.А.Аргимбаев¹*

¹ АО «Казахстанско-Британский технический университет», Алматы, Казахстан

² Nazarbayev university, Астана, Казахстан

³ Satbayev university, Алматы, Казахстан

*E-mail: mir001@gmail.com

Резюме. *Введение.* Разработка эффективных, дешевых и экологически чистых методов повышения нефтеотдачи пластов является одной из актуальных проблем нефтяной промышленности во всем мире в связи со снижением добычи нефти из-за снижения энергии пласта. В связи с этим применяются различные методы повышения нефтеотдачи на месторождениях, в том числе заводнение пласта газом. Методы повышения нефтеотдачи играют решающую роль в максимизации добычи нефти из пластов. *Целью данной работы* является исследование использования наночастиц, которое привлекло значительное внимание благодаря их потенциалу решения проблем, связанных с традиционными методами повышения нефтеотдачи. *Обсуждение.* В статье рассматриваются основы и применение поверхностно-активных веществ и смесей наночастиц для повышения нефтеотдачи пластов посредством заводнения пласта CO₂. Одной из ключевых проблем при использовании CO₂ для повышения добычи нефти является контроль подвижности газа. *Заключение.* В данной статье исследуется потенциал использования поверхностно-активных веществ и смеси поверхностно-активных веществ с наночастицами для создания устойчивой пены, которая снижает подвижность газа и увеличивает добычу нефти.

Ключевые слова: повышение нефтеотдачи, наночастицы, пена, поверхностно-активные вещества, закачка CO₂, межфазное натяжение, золь-гель метод, полимеры, дилатационная реология

<i>Сарсембекова Разия Ауесхановна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Пейман Пурафишари</i>	<i>PhD, профессор</i>
<i>Шарипова Алтынай Азигаровна</i>	<i>PhD, профессор-исследователь</i>
<i>Исахов Мирас Орынбасарулы</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Исаева Асем Бахытжанқызы</i>	<i>PhD, научный сотрудник</i>
<i>Аргимбаев Диас Адильбекулы</i>	<i>PhD докторант</i>

References

1. Al Yousef Z.A., Almobarky M.A., Schechter D.S. Surfactant and a mixture of surfactant and nanoparticles to stabilize CO₂/brine foam, control gas mobility, and enhance oil recovery. *J Petrol Explor Prod Technol.*, **2020**, *10*, 439–445. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13202-019-0695-9>
2. Cheraghian G., Rostami S., Afrand M. Nanotechnology in Enhanced Oil Recovery. *Processes.*, **2020**, *8*, 1073. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr8091073>
3. Iravani M., Khalilnezhad Z., Khalilnezhad A. A review on application of nanoparticles for EOR purposes: history and current challenges. *J Petrol Explor Prod Technol.*, **2023**, *13*, 959–994. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13202-022-01606-x>
4. Liu Y., Zhao F., Niu R., Cao S., Liu L., Song Y. Features of nanoparticle Composite enhanced CO₂ foam-flooding systems for low-permeability reservoirs. *Frontiers in Energy Research.*, **2022**, Vol.10.- 1060356. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11743-016-1889-5>
5. Liu H., Han P., Sun G., Pan F., Li B., Wang J., Changsen L. Dilational Rheology, Foam, and Core Flow Properties of Alpha Olefin Sulfonate. *J Surf Deter.*, **2016**, Vol.20. P. 35-45. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11743-016-1889-5>
6. Yang Z., Liu X., Hua Zh., Ling Y., Li M., Lin M., Dong Zh., Interfacial tension of CO₂ and crude oils under high pressure and Temperature. *Colloid. Surface. Physicochem. Eng. Aspect.*, **2015**, Vol.482, 611e616. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2015.05.058>
7. Alvarado V., Manrique E. Enhanced Oil Recovery: An Update Review. *Energies.*, **2010**, *3*, 1529-1575. DOI: <https://doi.org/10.3390/en3091529>
8. Hartono K.F., Permadi A.K., Siagian U.W.R. The impacts of CO₂ flooding on crude oil stability and recovery performance. *J Petrol Explor Prod Technol.*, **2024**, Vol.14–P.107–123. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13202-023-01699-y>

9. Ngo I., Ma L., Zhao Z. Sol-gel-stabilized CO₂ foam for enhanced in-situ carbonation in foamed fly ash backfill materials. *Geomech. Geophys. Geo-energ. Geo-resour.* **2024**, 10, 80 (2024). DOI: <https://doi.org/10.1007/s40948-024-00791-9>

10. Amankeldi F., Issakhov M., Pourafshary P., Ospanova Z., Gabdullin M., Miller R. Foam Stabilization by Surfactant/SiO₂ Composite Nanofluids. *Colloids Interfaces.*, **2023**, Vol. 7 – 57. DOI: <https://doi.org/10.3390/colloids7030057>

11. Agustin M.B., Nematollahi N., Bhattarai M. Lignin nanoparticles as co stabilizers and modifiers of nanocellulose-based Pickering emulsions and foams/ *Cellulose.*, **2023**, Vol.30 – P.8955–8971. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-023-05399-y>

12. Rizvi S., Nanotechnology Applications in Enhanced Oil Recovery (EOR). *Int J of Sci Res and Man.*, **2024**, Vol.12(06) – P.135-143. DOI: <https://doi.org/10.18535/ijrm/v12i06.c03>

13. Ejike C., Deumah S. Engineered Nanoparticles in EOR: A Quick Overview. *Proceedings of the International Field Exploration and Development Conference.* **2021**, DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-2149-0_514

SYNTHESIS OF NEW ION-EXCHANGE SORBENTS ON AN ORGANOMINERAL BASIS

*K.A. Sadykov^{1,2}, N.A. Bektenov^{1,2}, T.K. Chalov², N.S. Chinibayeva¹,
N.S. Zhusipbekova¹, A.K. Baidullayeva²

¹NJSC “Abai Kazakh National Pedagogical University”, Astana, Kazakhstan

²JSC Bekturov Institute of Chemical Sciences, Almaty, Kazakhstan

*E-mail: kanat.sadykov.80@bk.ru

Abstract. *Introduction.* According to scientists, the shortage of drinking and fresh water may become a global environmental issue. This article discusses the synthesis of new ion exchangers using natural resources. An ion-exchange sorbent was synthesized from the mineral vermiculite for the sorption of metal ions from water resources. *Purpose:* To create an organomineral sorbent using vermiculite and epoxyacrylate copolymers and evaluate its sorption properties for MoO_4^{2-} and ReO_4^- ions. *Methods:* Synthesis was conducted in a microwave at 300 W for 10 minutes, with orthophosphoric acid amounts increased two- and threefold. *Results and Discussion:* The sorbent is suitable for hydrometallurgy and water purification. Optimal conditions for modifying vermiculite with glycidyl methacrylate and orthophosphoric acid were established. The static exchange capacity for a 0.1 N HCl solution was 5.91 mg-eq/g. Sorption capacity reached 39.8 mg/g for MoO_4^{2-} ions (94% recovery) and 39.06 mg/g for ReO_4^- ions (96% recovery). *Conclusion:* The studies demonstrated that the organomineral sorbent exhibits high sorption capacity for MoO_4^{2-} ions, reaching 39.8 mg/g with a recovery rate of 94%, and for ReO_4^- ions, the sorption capacity was 39.06 mg/g, with a recovery rate of 96%.

Keywords: ion exchangers, sorption tank, epoxyacrylate copolymer, modified mineral, vermiculite, organomineral sorbent

<i>Kanat Amirkulovich Sadykov</i>	<i>Master of Chemistry; E-mail: kanat.sadykov.80@bk.ru</i>
<i>Nesiphan Abzhaparovich Bektenov</i>	<i>Doctor of Chemical Sciences, Professor; E-mail: bektenbna@gmail.com</i>
<i>Chalov Tolegen Kamenovich</i>	<i>Doctor of Chemical Sciences, Professor; E-mail: chalov.45@mail.ru</i>
<i>Chinibayeva Nurzhan Sarsenbayeva</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences; E-mail: chinibayeva@mail.ru</i>
<i>Zhusipbekova Nursulu Sarsenovna</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences; E-mail: nursulusarjus@mail.ru</i>
<i>Baidullayeva Ainash Kairatovna</i>	<i>Master of Chemistry; E-mail: ainash.kz@list.ru</i>

Citation: Bektenov N.A., Sadykov K.A., Chalov N.K., Chinibayeva N.S., Zhusipbekova N.S., Baidullayeva A.K. Synthesis of new ion-exchange sorbents on an organomineral basis. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 4(88), 77-86. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.50>

ОРГАНОМИНЕРАЛ НЕГІЗІНДЕГІ ЖАҢА ИОНАЛМАСТЫРҒАШ
СОРБЕНТТЕР СИНТЕЗІ*Қ.А. Садықов^{1,2}, Н.А. Бектенов^{1,2}, Т.К. Чалов², Н.С. Чинибаева¹,
Н.С. Жусипбекова¹, А.К. Байдуллаева²¹«Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті» КеАҚ, Алматы, Қазақстан²«Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

*E-mail: kanat.sadykov.80@bk.ru

Түйіндеме. Кіріспе. Ғалымдардың болжамы бойынша, ауыз су мен тұщы судың тапшылығы әлемдік экологиялық проблемаға айналуы мүмкін. Осы мәселенің шешімі экологиялық қауіпсіз модификацияланған сорбенттер болуы мүмкін. Мақалада табиғи ресурстарды қолдану арқылы жаңа ионалмастырғыштардың синтезі қарастырылады. Вермикулит минералының негізінде металл иондарын су ресурстарынан сорбциялауға арналған ионалмасу сорбенті алынды. *Жұмыстың мақсаты* – вермикулит пен эпоксиакрилат сополимерлері негізіндегі органоминаралды сорбент алу. Алынған сорбенттің MoO_4^{2-} , ReO_4^- иондарына қатысты сорбциялық қасиеттерін зерттеу. *Әдістер:* Синтез микротолқынды пеште 300 Вт қуатпен 10 минутта ортофосфор қышқылының массасын 2 және 3 есеге арттыра отырып жүргізілді. *Нәтижелер мен талқылаулар:* Алынған сорбент гидрometаллургияда, шаруашылық-ауыз, өндірістік және ағынды суларды түрлі ластаушы заттардан тазартуда қолдануға әлеуетті. Табиғи минералдық шикізатты (вермикулитті), глицидилметакрилат және ортофосфор қышқылы сополимерлерін модификациялаудың оңтайлы шарттары анықталды. Органоминаралды сорбенттің 0.1н HCl ерітіндісі бойынша статикалық алмасу сыйымдылығы 5.91 мг-экв/г тең. Сорбентінің MoO_4^{2-} , ReO_4^- иондарына қатысты сорбциялық сыйымдылығы ерітінділердің концентрациясына байланысты зерттелді. *Қорытынды:* Зерттеулер органоминаралды сорбенттің MoO_4^{2-} және ReO_4^- иондары үшін жоғары сорбциялық сыйымдылығы бар екенін көрсетті. MoO_4^{2-} иондары үшін ол 39.8 мг/г, ал сіңіру дәрежесі 94%, ал ReO_4^- иондары үшін сорбциялық сыйымдылық 39.06 мг/г, сіңіру дәрежесі 96%.

Түйін сөздер: ионалмастырғыштар, сорбциялық сыйымдылық, эпоксиакрилат сополимері, модификацияланған минерал, вермикулит, органоминаралды сорбент.

<i>Қанат Әмірқұлұлы Садықов</i>	<i>ғылыми қызметкер, аға оқытушы</i>
<i>Несипхан Әбжапарұлы Бектенов</i>	<i>химия ғылымдарының докторы, профессор</i>
<i>Чалов Төлеген Каменович</i>	<i>химия ғылымдарының докторы, профессор</i>
<i>Чинибаева Нуржан Сарсенбаевна</i>	<i>химия ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы</i>
<i>Жусипбекова Нұрсұлу Сарсеновна</i>	<i>химия ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы</i>
<i>Байдуллаева Айнаш Кайратовна</i>	<i>инженер, оқытушы</i>

1. Кіріспе

Судағы металл иондарын тазартудың экологиялық тиімді шешімдерінің бірі шығу тегі табиғи және жасанды ионалмастырғыш сорбенттерді пайдалану болып табылады. Модификацияланған цеолит ($MAIO_2(SiO_2)_x(H_2O)_y$, мұндағы М - H^+ немесе Na^+ иондары, монтмориллонит $(Al_2(Si_{14}O_{10})(OH)_2 \cdot nH_2O)$ және вермикулит $((Mg^{+2}, Fe^{+2}, Fe^{+3})_3[AlSi_4O_{10}] \cdot (OH)_2 \cdot 4H_2O)$ сияқты сорбенттерді зерттеу және қолдану олардың кеуектілігі мен активтендірілген орталықтарының болуына байланысты қарастырылады [1-3].

Қазіргі уақытта өнеркәсіпте және басқа салаларда қолданылатын сорбенттердің көпшілігі қымбат импорттық материалдар болып табылады және әрдайым талаптарға сәйкес келе бермейді. Осыған байланысты жоғары

сорбциялық сыйымдылыққа, жақсартылған физика-химиялық сипаттамалары бар, қайта пайдалануға жарамды отандық ионалмасу сорбенттерін алудың қолжетімді және тиімді әдістерін әзірлеу ғылым мен экономика қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін маңызды міндет болып табылады.

Зерттеулер көрсеткендей, вермикулит ауыр металдардың әртүрлі иондарын, мысалы Ni (II), Cu (II), Pb (II) және Cd(II) иондарын сулы ерітінділерден жоюға тиімділігін көрсеткен. Ni (II) иондарының вермикулит бетіне сорбциялану механизмі Na⁺ және басқа да авторлардың жұмысында егжей-тегжейлі қарастырылып, бұл процесте қабатаралық кеңістіктердің шешуші рөл атқаратындығы атап өтілген [4-7].

Вермикулитті модификациялау бойынша зерттеулер мыналарды қамтиды: Химиялық активация- сілтілі ерітінділерді, мысалы, натрийді және органикалық қосылыстарды пайдалану вермикулитке негізделген сорбенттің сорбциялық сыйымдылығын арттырады. Натриймен модификациялау вермикулиттің құрылымындағы қабатаралық қашықтықты арттырады, ол лантан ионын адсорбциялайды. Натриймен модификациялау мақсатты ион алмасу сорбентін береді. Бутиламинмен модификациялау вермикулиттің бетінде қорғасын (II) және кадмий (II) сияқты ауыр металл иондарын адсорбциялайтын амин топтарын тудырады. Сондықтан модификацияланған вермикулиттің сорбциялық сыйымдылығы артады [8-11] .

Қышқылмен шаймалау - қышқылдарды пайдалану ақаулардың пайда болуына және беттік ауданының артуына әкеледі, бұл өз кезегінде вермикулиттің сорбциялық сыйымдылығын арттырады [12-14].

Қабатаралық кеңістіктерді модификациялау - қабатаралық катиондарды ауыстыру немесе хелаттаушы агенттерді енгізу вермикулиттің селективтілігі мен сорбциялық сыйымдылығын жақсартады [15-17].

Композициялық материалдар - полимерлермен немесе танин қышқылы сияқты басқа материалдармен вермикулиттік композициялық материалдарды синтездеу нәтижесінде кеуектілік, беріктік және сорбция сияқты жоғары қасиеттері бар сорбенттер алынады [18, 19].

Алайда, вермикулит негізіндегі сорбенттерді алудың қолданыстағы әдістерінде улы реагенттерді қолдану, жоғары температурада өңдеу және процестің ұзақтығы сияқты бірқатар кемшіліктер бар. Жоғарыда аталған факторлардың әсерін азайту үшін табиғи вермикулитті полимерленетін органикалық реагенттерді пайдаланып физика-химиялық өңдеуді, сондай-ақ түйіршіктердің бетіне тікелей ион алмасу шайырынан органикалық зат қабатын қалыптастыру ұсынылады. Осы жұмыста авторлар қолжетімді табиғи шикізат – вермикулитті физика-химиялық өңдеуден өткізіп, модификациялап және физика-химиялық өңдеуден өткен кешендерді полимерлі материалдардың бетіне енгізеді. Нәтижесінде жаңа модификацияланған ионалмасу сорбенттері алынды. Сорбенттерді синтездеу жұмсақ жағдайда эпоксидтік топтарды және жоғары реакциялық қабілетті комплекс түзетін заттарды пайдалану арқылы жүзеге асырылады.

Бұл процесс көп уақыт пен улы реагенттерді пайдалануды талап етпейді. Жұмыстың мақсаты – ағынды суларды ауыр металдардан тазартуға арналған вермикулит негізіндегі органоминаралды тиімді және қолжетімді сорбентті әзірлеу.

2. Зерттеу нысандары мен әдістері

Органоминаралды сорбент синтезі қосытылған вермикулит, глицидилметакрилат (ГМА), акрилонитрил (АКН) және 85%-дық ортофосфор қышқылы негізінде жүргізіледі, мұнда массалық қатынас вермикулит:70%-дық ГМА:30%-дық АКН : ортофосфор қышқылы 1:0.35:0.15:1 тең. Қоспалық материал 300 Вт қуатты микротолқынды пешке 10 минутқа (температура 110 °С) қыздыру үшін орналастырылады. Алынған сорбент ГОСТ №10896 «Иониттер. Сынауға дайындау» стандартына сәйкес сынаққа дайындалды. Органоминаралды сорбенттің 0.1 н HCl ерітіндісіне қатысты статикалық алмасу сыйымдылығы (САС) ортофосфор қышқылының мөлшеріне сәйкес 4.70 мг-экв/г -нан 5.91 мг-экв/г – ға дейін жетті.

Вермикулит-ГМА-АКН- H_3PO_4 органоминаралды сорбентті синтездеу шарттары

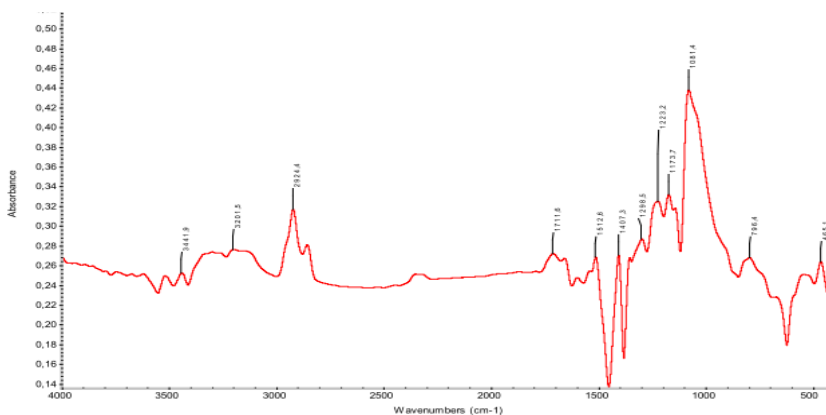
	Вер-мик улит	ГМА	АКН	85%-дық ортофосфор қышқылы	Микро-толқын қуаты, ват	Уақыт, мин	Температура, °С	САС, мг-экв/г
Тәжірибе 1	10	3.5	1.5	10	300	10	110	4.7
Тәжірибе 2	10	3.5	1.5	20	300	10	110	5.4
Тәжірибе 3	10	3.5	1.5	30	300	10	110	5.91

1-3 тәжірибелер нәтижесінде алынған органоминаралды сорбенттердің статикалық алмасу сыйымдылығы (САС) 85%-дық ортофосфор қышқылының мөлшеріне байланысты 0.1 н HCl бойынша 4.70 мг-экв/г тен 5.91 мг-экв/г аралығында болды.

3. Нәтижелер және оларды талқылау

Органоминаралды сорбенттерді эпоксидтік және фосфор топтарын табиғи шикізат — вермикулит бетіне отырғызу арқылы алынған сорбенттің (Вермикулит-ГМА-АКН- H_3PO_4) ИК-спектр деректері фосфор қышқылының ОН-топтары мен фосфор атомдары арасында ішкі молекулалық сутектік байланыс бар екенін растайды. Фосфор қышқылындағы P=O (1223; 1298 cm^{-1}), P-O-C (1081 cm^{-1}); P-O-CH₃ (1173 cm^{-1}), сондай-ақ гидроксильді ОН-топтары (1407 cm^{-1} ; 3201; 3441 cm^{-1}) ИК-спектр жолағында көрінеді (сур. 1). P=O (1223; 1298 cm^{-1}), P-O-C (1081 cm^{-1}), P-O-CH₃ (1173 cm^{-1}) функционалдық топтарына сәйкес келетін толқын ұзындықтары фосфор топтарының вермикулит сорбентіне сәтті енгізілгенін көрсетеді. Бұл топтардың болуы модификацияланған сорбенттің фосфор қышқылына ұқсас сутектік байланыстар мен электростатикалық әсерлесулерге ие екенін көрсетеді. Гидроксиль топтары фосфор қышқылы молекулаларымен

сутектік байланыстар орнатуда маңызды рөл атқарып, сорбция процесіне ықпал етеді. Органоминералды сорбенттің құрылымындағы сутек және фосфор топтарының болуы молекулалық сутектік байланыстардың түзілуін жеңілдетеді. ГМА және АКН сополимері арқылы модификациялау вермикулит сорбентінің құрылымына қосымша функционалдық топтарды енгізіп, оның ионалмасу қабілетін арттырады.



Сурет 1 - Вермикулит-ГМА-АКН- H_3PO_4 органоминералды сорбентінің ИК-спектрі

Модификацияланған табиғи минералды шикізат (вермикулит), глицидилметакрилат сополимерлері және ортофосфор қышқылы синтезінің оңтайлы шарттарын анықтау үшін бастапқы реагенттердің ара қатынасының, температураның (микротолқынды қуаттылық) және процестің ұзақтығының статикалық алмасу сыйымдылығына әсері зерттелді.

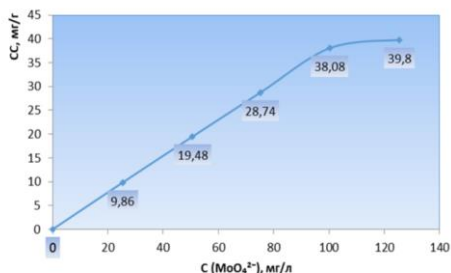
Осылайша, микротолқынды әдіс арқылы модификацияланған вермикулит, глицидилметакрилат сополимерлері және ортофосфор қышқылы негізінде синтездеудің оңтайлы шарттары Вермикулит-ГМА-АКН- H_3PO_4 компоненттерінің 1:0.35:0.15:3 арақатынасымен микротолқынды сәулелендіру арқылы анықталды. Нәтижесінде алынған органоминералды сорбенттің статикалық алмасу сыйымдылығы 0.1 н HCl ерітіндісі бойынша 5.91 мг-экв/г құрады (кесте).

Молибдат иондарын (MoO_4^{2-}) модельді ерітінділерден сорбциялау

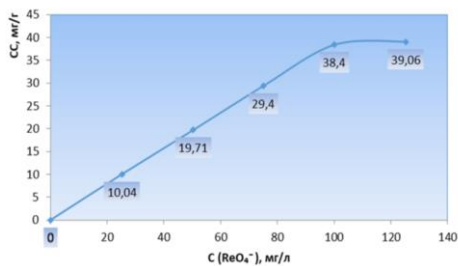
Ауыз суды тазарту, ауыр, көпвалентті және өтпелі металдар иондарын гидрometаллургияда, медицинада, тамақ өнеркәсібінде, су дайындауда, изотоптарды сорбциялау және концентрлеу, сондай-ақ мұнай төгінділерінің мәселелерін шешу үшін жаңа жоғары тиімді сорбенттер жасау мәселесі өзекті болып қалуда.

Вермикулит-ГМА-АКН- H_3PO_4 органоминералды сорбенттерінің MoO_4^{2-} , ReO_4^- иондарына сорбциялық қасиеттері ерітінділердің концентрациясына байланысты зерттелді. Сорбцияға дейінгі және

сорбциядан кейінгі металл иондарының концентрациясы атомды-эмиссиялық спектрофотометрде өлшенді.

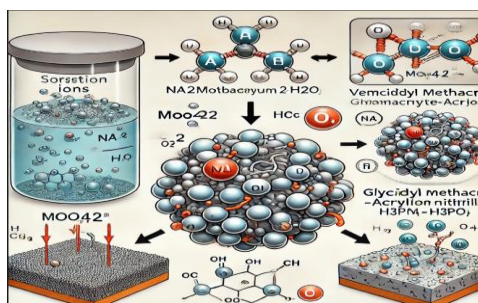


Сурет 2 - Na₂MoO₄·2H₂O тұзынан алынған MoO₄²⁻ иондарының Вермикулит-ГМА-АКН-Н₃PO₄ органоминералды сорбентімен сорбция изотермасы

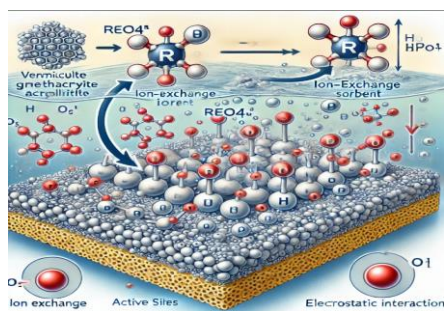


Сурет 3 - NH₄ReO₄ тұзынан алынған ReO₄⁻ иондарының Вермикулит-ГМА-АКН-Н₃PO₄ органоминералды сорбентімен сорбция изотермасы

2-ші және 3-ші суреттерде Na₂MoO₄·2H₂O тұзының сулы ерітіндісіндегі молибден (MoO₄²⁻) иондарымен NH₄ReO₄ тұзынан алынған (ReO₄⁻) иондарының 0.05 г Вермикулит-ГМА-АКН-Н₃PO₄ негізіндегі органоминералды сорбентпен сорбция изотермиясы көрсетілген. Ерітіндідегі молибден иондарының концентрациясының артуымен сорбенттің сорбциялық сыйымдылығы 9.86 мг/г-нан 39.8 мг/г-ға дейін артып, тұрақталады. Ал ReO₄⁻ иондары үшін сорбциялық сыйымдылықтың мәні 10.4 мг/г - нан 39.06 мг/г - ға дейін жетіп, максимум мәнін көрсетеді. Яғни екі ерітіндіде де металл (MoO₄²⁻, ReO₄⁻) иондарының концентрациясын одан әрі арттыру 0.05 г Вермикулит-ГМА-АКН-Н₃PO₄ сорбенті үшін сорбциялық сыйымдылықты арттырмайды.



Сурет 4 - Вермикулит-ГМА-АКН-Н₃PO₄ сорбентімен MoO₄²⁻ иондарының сорбция процесін суреттеу схемасы



Сурет 5 - Вермикулит-ГМА-АКН-Н₃PO₄ сорбентімен ReO₄⁻ иондарының сорбция процесін суреттеу схемасы

Молибден (VI) иондарының сорбция процесінің схемасын сипаттау үшін бірнеше негізгі элементтерді атауға болады (4 сурет): Ерітіндіде молибден (мысалы, MoO₄²⁻) иондарының ерітіндідегі еркін күйі көрсетіледі.

Сорбент бетіндегі белсенді орталықтар бөлшек түрінде көрсетілуі мүмкін. Молибден иондары сорбенттің белсенді орталықтарымен байланысқа түседі. Оны сорбент бетіндегі иондардың қозғалысын көрсететін жебелер арқылы белгілеуге болады. Сорбент бетінде ионалмасу немесе электростатикалық әсерлесу жүруі мүмкін. Әсерлесу механизмдері ретінде - электростатикалық күштерді немесе химиялық байланыстарды атауға болады. Сорбциядан кейін молибден иондары сорбент бетінде тұрақтанады. Оларды сорбент бетінде байланысқан күйінде көрсетуге болады.

Рений иондарын (ReO_4^-) NH_4ReO_4 тұзынан ерітіндіден Вермикулит-ГМА-АКН- H_3PO_4 сорбентімен сорбциялау процесі бірнеше негізгі химиялық кезеңдерді қамтиды (5 сурет):

NH_4ReO_4 тұзы суда ерігенде, ReO_4^- иондары ерітіндіге өтіп, еркін күйде болады. ReO_4^- иондары бар ерітінді сорбентпен байланысқа түскенде, сорбенттің $[\text{Сорбент-PO}_4\text{H}]^+$ құрамындағы фосфат топтары ReO_4^- иондарымен иондық байланысқа түседі. Бұл уақытта NH_4^+ иондары ерітіндіде қалып, жалпы зарядтың нейтралдылығын сақтайды. Сорбенттің негізгі белсенді орталықтары: су байланыстарын құра алатын ОН топтары және ерітіндідегі аниондармен ион алмасуға дайын фосфат топтары. Сорбенттің құрамындағы фосфат топтары ReO_4^- иондарымен электростатикалық әрекеттесу арқылы иондық кешендер түзе алады. Нәтижесінде, ReO_4^- иондары сорбент бетінде әлсіз байланысқан аниондарды ығыстырып, белсенді орталықтарда орнығады. Ионалмасу және электростатикалық әрекеттесу аяқталғаннан кейін, ReO_4^- иондары сорбент бетінде мықты байланысады. Сорбенттің фосфатты және гидроксилді топтары мен рений иондары арасында сутектік байланыстардың пайда болып, фосфат топтарының электростатикалық әрекеттесулер арқылы ReO_4^- иондарын ұстап тұру қабілеті артады. Процесті күрделілігіне қарамастан, оны келесідегідей жалпылама түрде жазуға болады: $[\text{Сорбент-PO}_4\text{H}]^+ + \text{ReO}_4^- \rightarrow \text{Сорбент-PO}_4\text{H} \cdot \text{ReO}_4^-$. Рений иондарын сорбциялау процесінің бірнеше негізгі химиялық кезеңдерін (5 сурет) қорытындылай келе келесідей сипаттама беруге болады: Мұнда толық ион алмасу емес, ReO_4^- ионы мен сорбенттің оң зарядталған бөлігі $\text{Сорбент-PO}_4\text{H}^+$ арасындағы электростатикалық тартылыс процесі жүреді. Мұнда сорбент бетіндегі фосфат тобы (PO_4H) сорбентке бекітілген оң орталықтың рөлін атқарады да ReO_4^- анионын электростатикалық өзара әрекеттесу арқылы тартады. Мұнда біз белсенді орталықтарда рений иондарының адсорбциясын толық ионалмасу ғана емес, электростатикалық өзара әрекеттесу арқылы да жүретінін біз байқаймыз.

4. Қорытынды

Қазіргі уақытта қолданылатын сорбенттердің көпшілігі импортталған, қымбат және әрқашан экологиялық таза емес. Сорбенттерді дамытудың негізі ретінде бірегей сорбциялық қасиеттері бар және олардың тиімділігін

арттыру үшін өзгертілуі мүмкін вермикулит сияқты табиғи минералдар таңдалды. Ортофосфор қышқылымен біріктірілген глицидилметакрилат және акрилонитрилді сополимерлерді қолдану жоғары тиімді сорбенттерді жасауға мүмкіндік береді. Зерттеулер нәтижесінде белгілі болғандай органоминералды сорбент алу процесі күрделі технологиялық жабдықты қажет етпейді және гидрометаллургиялық кәсіпорындарда тұрмыстық, өнеркәсіптік және ағынды сулардан рений және молибден иондарынан тазарту үшін қолданылуы мүмкін.

Қаржыландыру. Зерттеу жұмысы Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің 2024 жылға арналған ғылыми зерттеулерді мақсатты қаржыландыру бағдарламасы, №05-04/368 24.05.2024 ж. бұйрық бойынша "Минералдар негізінде жаңа жоғары өткізгіш ионалмасу материалдарының синтезі" тақырыбында ғылыми-зерттеу интеграциялық жобаларды іске асыру гранты шеңберінде жүзеге асырылды.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар бұл мақалада өзара мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

СИНТЕЗ НОВЫХ ИОНООБМЕННЫХ СОРБЕНТОВ НА ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОЙ ОСНОВЕ

*Қ.А. Садықов^{1,2}, Н.А. Бектенов^{1,2}, Т.К. Чалов², Н.С. Чинибаева¹,
Н.С. Жусипбекова¹, А.К. Байдуллаева²

¹НАО "Казахский национальный педагогический университет имени Абая», Алматы, Казахстан

²АО «Институт химических наук имени А.Б. Бектурова», Алматы, Казахстан

*E-mail: kanat.sadykov.80@bk.ru

Резюме. Введение. По прогнозам ученых, нехватка питьевой и пресной воды может стать глобальной экологической проблемой. Решением этой проблемы могут стать экологически безопасные модифицированные сорбенты. В статье рассматривается синтез новых ионообменников с использованием природных ресурсов. На основе минерала вермикулита получен ионообменный сорбент для сорбции ионов металлов из водных ресурсов. *Цель работы.* Получение органоминерального сорбента на основе сополимеров вермикулита и эпоксиакрилата. Исследование сорбционных свойств полученного сорбента по отношению к ионам MoO_4^{2-} , ReO_4^- . *Методы:* Синтез проводили в микроволновой печи при мощности 300 Вт за 10 минут, увеличивая массу ортофосфорной кислоты в 2 и 3 раза. *Результаты и обсуждения:* Полученный сорбент потенциально может использоваться в гидрометаллургии, при очистке хозяйственно-питьевых, промышленных и сточных вод от различных загрязнителей. Определены оптимальные условия модификации природного минерального сырья (вермикулита), сополимеров глицидилметакрилата и ортофосфорной кислоты. Статическая обменная емкость по раствору 0.1 н HCl органоминерального сорбента равна 5.91 мг-экв/г. Сорбционная емкость сорбента по отношению к ионам MoO_4^{2-} , ReO_4^- исследована в зависимости от концентрации растворов. *Заключение:* Исследования показали, что органоминеральный сорбент обладает высокой сорбционной способностью для ионов MoO_4^{2-} которая составляет 39.8 мг/г, со степенью извлечения 94%, а для ионов ReO_4^- сорбционная емкость составляет 39.06 мг / г, со степенью извлечения 96%.

Ключевые слова: ионообменники, сорбционная емкость, сополимер эпоксиакрилата, модифицированный минерал, вермикулит, органоминеральный сорбент

Садықов Канат Амиркулович

научный сотрудник, преподаватель

Бектенов Несипхан Абжапарович

доктор химических наук, профессор

Чалов Толеген Каменович

доктор химических наук, профессор

Чинибаева Нуржан Сарсенбаевна	кандидат химических наук, старший преподаватель
Жусипбекова Нурсулту Сарсеновна	кандидат химических наук, старший преподаватель
Байдуллаева Айнаи Кайратовна	инженер, преподаватель

References

11. Abdul G., Dhanasekar, Sathees K., Sankaran Elimination of nickel (II) ions using various natural/modified clay minerals: A review. *Mater. Today.*, **2021**, 37, P.2, 033-2040. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.500>
2. Song J., Park C., Kim C., Park C.W., Hong H.-J. Mechanically stable and highly permeable porous alumina foam with immobilized copper hexacyanoferrate (Cu-HCF@AF) for the removal of radioactive cesium (¹³⁷Cs) from seawater. *Sep. Purif. Technol.*, **2025**, 353, PartB, 128504. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.128504>
3. Mao J., Hong W., Li Q., Gao Y., Jiang Y., Li Y., Li B., Gao B., Xu X. The application strategies and progresses of silicon-based minerals in advanced oxidation processes for water decontamination. *Coord. Chem. Rev.*, **2024**, 511, 215871. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2024.215871>.
4. Worasith H., Goodman B. A. Clay mineral products for improving environmental quality. *Applied Clay Science*. **2023**, 242, 106980. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2023.106980>.
5. Lujanieni G., Novikov R., Karalevičiute K., Pakstas V., Talaikis M., Levinskaitė L., Selskiene A., Selskis A., Mazeika J., Joksas K. Chitosan-minerals-based composites for adsorption of caesium, cobalt and europium. *J. Hazard. Mater.*, **2024**, 462, 132747. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132747>.
6. Han B., He B., Geng R., Zhao X., Li P., Liang J., Fan Q. Ni (II) sorption mechanism at the vermiculite-water interface: Effects of interlayer. *J. Mol. Liq. Liquids.*, **2019**, 274, 362-369. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.10.153>
7. Dorsan S. Moraes, Elizabeth M.S. Rodrigues, Cláudio N. Lamarão, Gisele T. Marques, Augusto F.S. Rente. New sodium activated vermiculite process. Testing on Cu²⁺ removal from tailing dam waters. *J. Hazard. Mater.*, **2019**, 366, 34-38. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.11.086>
8. Contino A., Maccarrone G., Zimbone M., Reitano R. Tyrosine capped silver nanoparticles: a new fluorescent sensor for the quantitative determination of copper (II) and cobalt (II) ions. *J. Colloid Interface Sci.*, **2016**, 462, 216–222, DOI: 10.1016/j.jcis.2015.10.008
9. Hashem F. S., Amin M. S., El-Gamal S. M. A. Chemical activation of vermiculite to produce highly efficient material for Pb²⁺ and Cd²⁺ removal. *Appl. Clay Sci.*, **2015**, 115, 189-200. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.07.042>
10. Liu Z., Wu S. & Mou R. Efficient removal of Cu (II) from aqueous solution using pyrolyzed oyster shells by Taguchi method. *Biomass Conv. Bioref.*, **2024**, 14, 1175–1186. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-03884-9>
11. Ahmed Z., Wu P., Wu J., Lu B., Abbasi S. A., Rehman S., Zhang Z. Single and binary adsorption of lead and cadmium ions in aqueous solutions and river water by butylamine functionalized vermiculite: performance and mechanism. *Environ. Technol.*, **2022**, 44(19), 2924–2945. <https://doi.org/10.1080/09593330.2022.2048085>
12. de Vargas Brião, G., Franco, D. S. P., da Silva, F. V., da Silva, M. G. C., Vieira, M. G. A. Critical rare earth metal adsorption onto expanded vermiculite: Accurate modeling through response surface methodology and machine learning techniques. *Sustain. Chem. Pharm.*, **2023**, 31, 100938. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100938>
13. Teğin, İ., Batur, M.Ş., Yavuz, Ö. *et al.* Removal of Cu (II), Pb (II) and Cd (II) metal ions with modified clay composite: kinetics, isotherms and thermodynamics studies. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, **2023**, 20, 1341–1356 <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04028-8>
14. Neves, H.S.d., da Silva, T.L., da Silva, M.G.C. *et al.* Ion exchange and adsorption of cadmium from aqueous media in sodium-modified expanded vermiculite. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **2022**, 29, 79903–79919. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16841-8>

15. Bai, G., Luo, F., Zou, Y., Liu, Y., Wang, R., Yang, H., Zhang, Y. Effects of vermiculite on the growth process of submerged macrophyte *Vallisneria spiralis* and sediment microecological environment. *J. Environ. Sci.*, **2022**, *118*, 130-139. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.08.038>

16. Stawiński, Wojciech Freitas, Olga Chmielarz, Lucjan Węgrzyn, Agnieszka Komadera, Kamila Błachowski, Artur Figueiredo, Sónia. The influence of acid treatments over vermiculite based material as adsorbent for cationic textile dyestuffs. *Chemosphere.*, **2016**, *153*, 115-129. [10.1016/j.chemosphere.2016.03.004](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.004)

17. Melnikov, A. A., Gordina, N. E., Sinitsyn, A. P., Gusev, G. I., Gushchin, A. A., Rumyantsev, R. N. Investigation of the influence of mechanochemical effects on the structure and properties of vermiculite sorbents. *J. Solid State Chem.*, **2022**, *306*, 122795. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2021.122795>

18. Sari A., Saleh T. A., Tuzen M. (2021). Development and characterization of polymer-modified vermiculite composite as novel highly-efficient adsorbent for water treatment. *Surf. Interface.*, **2021**, *27*, 101504. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2021.101504>

19. Wang, S., Sun, H., Liu, H., Xi, D., Long, J., Zhang, L., Ling, Z. Novel vermiculite/tannic acid composite aerogels with outstanding CO₂ storage via enhanced gas hydrate formation. *Energy.*, **2024**, *289*, 130033. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.130033>

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NiFe₂O₄ SPINEL NANOPARTICLES

R.M. Kudaibergenova¹, E.A. Baibazarova¹, Zh.B. Khamzina²

¹M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

²Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

*E-mail: khamzezhuldyz@gmail.com

Abstract. *Introduction.* Nickel ferrite (NiFe₂O₄) spinel nanoparticles have attracted great interest in recent years due to their unique physicochemical properties and wide range of applications in various fields. *Methodology.* In this work, the synthesis of NiFe₂O₄ nanoparticles by the sol-gel method was studied. The synthesized NiFe₂O₄ nanoparticles were characterized using methods such as X-ray diffraction analysis and energy-dispersive X-ray microanalysis. *Results and discussion.* The results of X-ray diffraction analysis showed that the main phase in the analyzed samples is iron-containing oxide of cubic structure NiFe₂O₄, and the position and relative intensity of the peaks correspond to the standard JCPDS No. 54–0964. Also, EDS analysis of the studied samples showed that the nanopowders consist of the elements Ni, Fe and O, which indicates the purity of the synthesized sample and the absence of any impurities. FTIR spectrum of NiFe₂O₄ nanoparticles showed two main peaks at 458 cm⁻¹ and 548 cm⁻¹ corresponding to the metal-oxygen band. *Conclusion.* The results of the study of the magnetic properties of the obtained NiFe₂O₄ nanoparticles show that the magnetic properties change depending on the alloy components and phase composition, i.e. FeNiO (77% Fe₃O₄ - magnetite 23% Fe_{0.64}Ni_{0.36}) is a particle of about 25 nm size, a multicomponent ferromagnetic powder with a predominant magnetite phase, low coercivity and relatively large saturation magnetization values. This means that they are a soft magnetic material with high magnetic properties.

Keywords: nickel ferrite, spinel, nanoparticles, sol-gel synthesis, magnetic properties, X-ray diffraction, EDS, FTIR, Hysteresis loops, Ferrimagnetic material

Kudaibergenova Rabiga Musaparovna PhD; E-mail: rm.kudajbergenova@dulaty.kz

Baibazarova Elvira Adilbekovna Master of chemistry; E-mail: yea.bajbazarova@dulaty.kz

Khamzina Zhulduz Bazaraliyevna PhD; E-mail: khamzezhuldyz@gmail.com

Citation: Kudaibergenova R.M., Baibazarova E.A., Khamzina Zh.B. Synthesis and characterization of NiFe₂O₄ spinel nanoparticles. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 4(88), 87-94. DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.51>

1. Introduction

One of the most problems troubling the scientific community in recent years is environmental pollution. Organic pollutants, especially dyes from the textile, leather and petroleum industries, discharged into surface and groundwater, annually cause serious damage to the environment [1]. The high structural stability of these pollutants and their nonbiodegradability make the removal of these molecules difficult. Therefore, treatment methods such as adsorption, advanced oxidation processes, coagulation, biological and membrane treatment have recently been widely used for wastewater treatment [2]. Additionally, the most widely used method is catalytic reduction as it is predominantly efficient, fast, environmentally friendly and cheap, unlike other methods which are usually expensive, slow and difficult to use. Thus, it is important to find and develop a good, inexpensive, efficient, easily recoverable and recyclable catalyst. Among the many existing catalysts, magnetic materials are of particular interest because they have a large specific surface area, low cost, and ease of preparation and reuse [3]. Nickel ferrite (NiFe_2O_4) spinel nanoparticles have attracted great interest in recent years due to their unique physicochemical properties and wide range of applications in various fields [4]. Being nanomaterials, they exhibit unique behavior and functionality compared to their bulk counterparts, making them very attractive for advanced technological applications. NiFe_2O_4 is a ferrimagnetic material with high electrochemical stability, low conductivity, low saturation magnetization (M_s), low coercivity (H_c). Ni^{2+} as well as Fe^{3+} are capable of exchanging electrons in the octahedral site, this demonstrates excellent electrical and magnetic properties and distinguishes them as unique materials. Also, nickel ferrite nanoparticles, depending on their size, can exhibit both superparamagnetic and ferrimagnetic properties. NiFe_2O_4 nanoparticles smaller than 15 nm can act as superparamagnetic, and those larger than 15 nm can act as a ferrimagnetic material [5].

Understanding the synthesis, characterization and applications of NiFe_2O_4 spinels is essential to fully exploit their potential in various fields such as electronics, medicine, energy and environmental engineering. In recent years, significant research has been carried out to study the synthesis methods, structural characterization and functional properties of NiFe_2O_4 spinel nanoparticles [6]. Various synthesis methods, including sol-gel, co-precipitation, hydrothermal and combustion methods, have been explored to tailor the size, morphology and magnetic properties of nanoparticles. In this work, the structural properties and elemental analysis of nanoparticles synthesized by the sol-gel method were investigated.

In this work, the authors studied the synthesis of NiFe_2O_4 nanoparticles by the sol-gel method, and also carried out X-ray structural and energy-dispersive X-

ray analyses, and investigated the magnetic properties of the obtained nanomaterials.

2. Conditions and methods of research

Materials: iron (III) nitrate nonahydrate, purity $\geq 99.95\%$, nickel (II) acetylacetonate, purity $\geq 95\%$ were obtained from Sigma-Aldrich. All chemicals were of analytical grade and used without pretreatment.

Methods: X-ray diffraction analysis was carried out on an automated diffractometer DRON-3 with CuK α radiation, β -filter. Conditions for taking diffraction patterns: U=35 kV; I=20 mA; shooting θ -2 θ ; detector 2 deg/min. EDS analysis was carried out on a scanning electron microscope Zeiss Crossbeam 540 – FE – SEM. The Crossbeam 540 is a dual-beam FIB-SEM microscope for nanotomography and nanofabrication that enables EDS studies. The FTIR analysis of nanopowders was carried out on Nicolet iS10 FT-IR Spectrometer

Preparation of NiFe₂O₄ nanoparticles

The molar ratio of metal salts (8:4), iron (III) nitrate nonahydrate (3.308 g), nickel (II) acetylacetonate (0.996 g) was used as a precursor of metal powders. The original precursor salts were dissolved in ethanol in a three-neck flask equipped with a heated magnetic stirrer and a reflux condenser. 1 mL of acetic acid was used as a catalyst to increase the rate of hydrolysis. After 20 minutes, 2-methoxyethanol is added as a solvent, and H₂O, ethylene glycol and ethanol are added to form a gel while heating and stirring. The synthesized gel solutions were dried at a temperature of 100°C for approximately 24 hours in an oven. A well-dried sample was calcined at a temperature (600°C) for 8 hours in a muffle furnace.

3. Discussion of research results

X-ray diffraction patterns of the studied NiFe₂O₄ sample are presented in Figure 1. X-ray diffraction analysis of the synthesized NiFe₂O₄ sample showed all peaks corresponding to metallic ferrites. Also, the identified phases are consistent with the experimental results. From the X-ray diffraction analysis data it is clear that the studied NiFe₂O₄ sample has nano-sized polycrystalline structures, this is evidenced by the broadening and low intensity of the diffraction peaks. The main phase in the analyzed samples is iron-containing oxide for NiFe₂O₄ cubic structure. It can be noted that the position and relative intensity of the peaks are consistent with the standard NiFe₂O₄ according to JCPDS No. 54–0964, which confirms the structure [7].

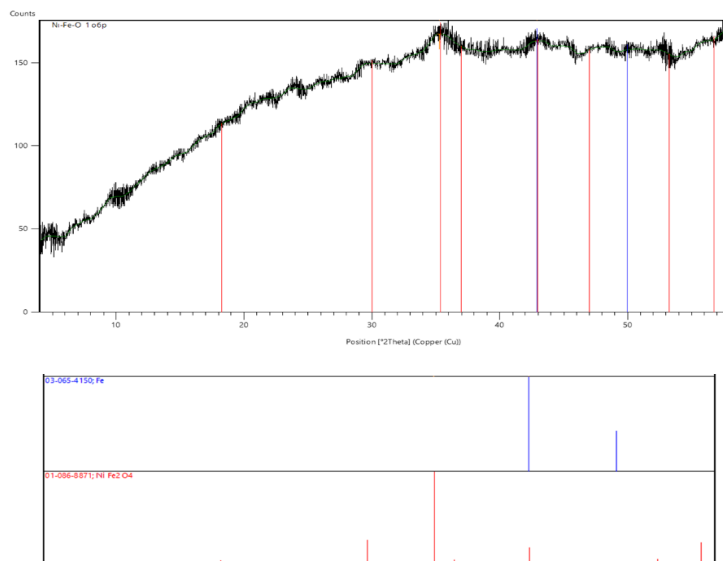


Figure 1 - X-ray diffraction analysis of NiFe₂O₄ nanoparticles

Figure 2 shows the results of EDS analysis of the synthesized NiFe₂O₄ nanopowders. According to the results of EDS analysis, the nanopowder samples consist of the elements Ni, Fe and O. In addition, signals corresponding to N and C were not detected in the EDS spectrum, which indicates the purity of the synthesized sample and does not contain any impurities [8].

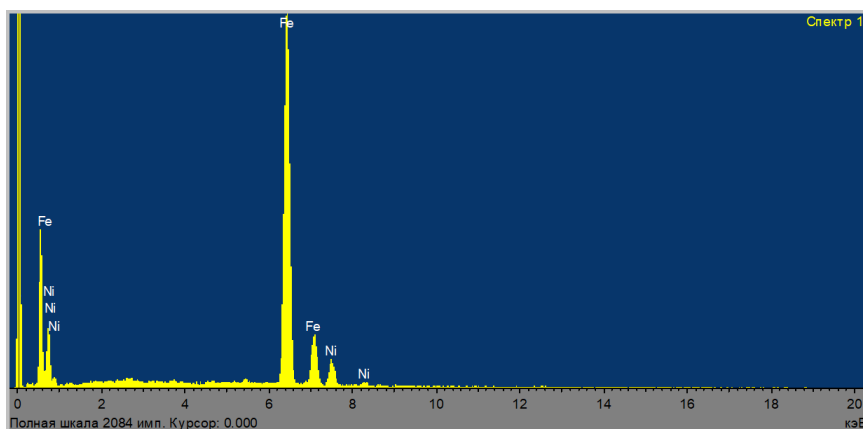


Figure 2 - EDS spectrum of NiFe₂O₄ nanoparticles

The formation of nickel ferrite nanoparticles was further identified by FTIR spectrum. Figure 3 shows the FTIR spectrum of NiFe₂O₄ nanoparticles is in the wavenumber range of 400–1250 cm⁻¹. Two main peaks at 458 cm⁻¹ and 548 cm⁻¹

correspond to the metal-oxygen band. The band appearing at 458 cm^{-1} is attributed to the octahedral stretching vibrations of the metal ($\text{Fe}^{3+}-\text{O}$ and $\text{Ni}^{2+}-\text{O}$), and the strong absorption band at 548 cm^{-1} corresponds to the stretching vibrations of the metal in the tetrahedral position of $\text{Fe} \leftrightarrow \text{O}$.

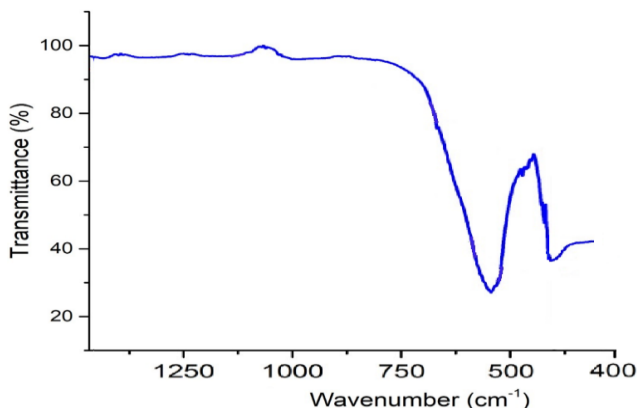


Figure 3 - FTIR spectrum of NiFe₂O₄ nanoparticles

Figure 4 shows the results of measuring the magnetic characteristics of the samples under study using vibration magnetometry. The measurements were carried out by the induction method, by measuring the induced electromotive force of induction in signal coils by a magnetized sample oscillating at a certain frequency, while recording the temperature and external magnetic field at the time of measurement. This method ensures an error in the magnetization measurement result of no worse than 1.5% when the measured magnetization value is not lower than $\pm 1 \cdot 10^{-6} \text{ A} \cdot \text{m}^2$ ($\pm 1 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^2$).

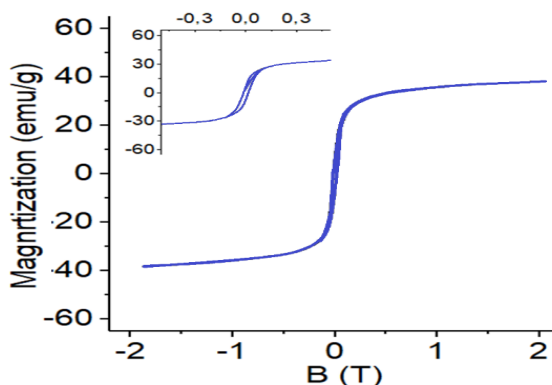


Figure 4 - Hysteresis loops of the NiFe₂O₄ nanoparticles

Based on the presented graph of field dependencies, the main magnetic characteristics were determined (H_c - coercivity, M_r - remanent magnetization, M_s - saturation magnetization, M_r / M_s - hysteresis loop squareness coefficient), which are given in Table 1.

Table 1 - Main magnetic characteristics

Compound	H_c , Oe	M_r , emu/g	M_s , emu/g	M_r / M_s
FeNiO	15.60	7.20	38.30	0.19

When analyzing the course of the hysteresis loop, a change in the magnetic properties is obvious, depending on the components of the alloys and the phase composition of the samples under consideration. The FeNiO sample (77% Fe_3O_4 – Magnetite 23% $Fe_{0.64}Ni_{0.36}$) is a multicomponent ferromagnetic powder with a predominance of the magnetite phase with a particle size of about 25 nm and with low coercivity and relatively large saturation magnetization values, corresponding to the characteristics of magnetite particles with similar sizes [9]. The magnetic contribution of FeNi particles, which is a soft magnetic material, is significant [10].

4. Conclusion

$NiFe_2O_4$ nanoparticles were successfully synthesized by sol-gel method. The synthesized $NiFe_2O_4$ nanoparticles were characterized using techniques such as X-ray diffraction, energy-dispersive X-ray microanalysis. The results of X-ray diffraction analysis showed that the main phase in the analyzed samples is the iron-containing oxide of cubic structure $NiFe_2O_4$. Also, EDS analysis of the studied samples showed that nanopowders consist of the elements Ni, Fe and O, which indicates the purity of the synthesized sample and the absence of any impurities. FTIR spectrum of $NiFe_2O_4$ nanoparticles showed two main peaks at 458 cm^{-1} and 548 cm^{-1} corresponding to the metal-oxygen band. The results of the study of the magnetic properties of the obtained $NiFe_2O_4$ nanoparticles show that the magnetic properties change depending on the alloy components and phase composition, i.e. FeNiO (77% Fe_3O_4 - magnetite 23% $Fe_{0.64}Ni_{0.36}$) is a particle of about 25 nm size, a multicomponent ferromagnetic powder with a predominant magnetite phase, low coercivity and relatively large saturation magnetization values. This means that they are a soft magnetic material with high magnetic properties.

Acknowledgement

The work was supported by the Science Committee of the Ministry of Higher Education and Science of the Republic of Kazakhstan, grant No. AP15473575 “A facile method to fabricate graphene-based superhydrophobic magnetic material for oil-water separation”.

Conflict of Interests: No conflict of interest.

NiFe₂O₄ ШПИНЕЛЬДІК НАНОБӨЛШЕКТЕРДІҢ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ СИПАТТАМАСЫ*Р.М. Қудайбергенова¹, Э.А. Байбазарова¹, Ж.Б. Хамзина²**М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан**Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан***E-mail: khamzeshuldyz@gmail.com*

Түйіндемe. *Кіріспе.* Никель ферриті (NiFe₂O₄) шпинельді нанобөлшектері соңғы жылдары бірегей физика-химиялық қасиеттеріне және әртүрлі салаларда қолданудың кең ауқымына байланысты үлкен қызығушылық тудыруда. Бұл жұмыста NiFe₂O₄ нанобөлшектерінің золь-гель әдісімен синтезі зерттелді. Синтезделген NiFe₂O₄ нанобөлшектері рентгендік дифракциялық және энергия-дисперсиялық рентгендік талдау әдістері бойынша сипатталды. *Нәтижелер және талқылау.* Рентгендік дифракциялық талдау нәтижелері талданатын үлгілердегі негізгі фаза NiFe₂O₄ текше құрылымды темірі бар оксид болып табылатынын, ал шыңдардың орналасуы мен салыстырмалы қарқындылығы JCPDS No 54–0964 стандартына сәйкес келетінін көрсетті. Сондай-ақ, зерттелген үлгілердің энергия-дисперсиялық рентгендік талдау нәтижелері нанобөлшектердің Ni, Fe және O элементтерінен тұратынын көрсетті, бұл синтезделген үлгінің тазалығын және ешқандай коспалардың жоқтығын көрсетеді. NiFe₂O₄ нанобөлшектерінің ИҚ-Фурье спектрі металл-оттегі жолағына сәйкес екі негізгі 458 см⁻¹ және 548 см⁻¹ шыңдарын көрсетті. *Қорытынды.* Алынған NiFe₂O₄ нанобөлшектерінің магниттік қасиеттерін зерттеу нәтижелері қорытпа компоненттеріне және фазалық құрамына байланысты магниттік қасиеттердің өзгеруін, яғни FeNiO (77% Fe₃O₄ – Магнетит 23% Fe_{0.64}Ni_{0.36}) – бөлшектерінің өлшемі шамамен 25 нм болатынын, басым магнетит фазасы бар көпкомпонентті ферромагниттік ұнтақ және төмен коэрцитивтілігі және салыстырмалы түрде үлкен қанығу магниттелу мәндерін ие болатындығын көрсетеді. Бұл олардың магниттік қасиеттері жоғары жұмсақ магниттік материал екенін айқындайды.

Түйін сөздер: никель ферриті, шпинель, нанобөлшектер, золь-гель синтезі, магниттік қасиеттері, рентгендік дифракция, EDS, FTIR, гистерезис ілмектері, ферримагниттік материал

Қудайбергенова Рабига Мұсапаровна *PhD*

Байбазарова Эльвира Адильбековна *Химия магистрі*

Хамзина Жулдуз Базаралиевна *PhD*

СИНТЕЗ И ХАРАКТЕРИСТИКА НАНОЧАСТИЦ ШПИНЕЛИ NiFe₂O₄*Р.М. Қудайбергенова¹, Э.А. Байбазарова¹, Ж.Б. Хамзина²**Таразский университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан**Алматинский Технологический Университет, Алматы, Казахстан***E-mail: khamzeshuldyz@gmail.com*

Резюме. *Введение.* Наночастицы шпинели феррита никеля (NiFe₂O₄) в последние годы привлекают большой интерес благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам и широкому спектру применения в различных областях. В данной работе исследован синтез наночастиц NiFe₂O₄ золь-гель методом. Синтезированные наночастицы NiFe₂O₄ были охарактеризованы с использованием таких методов, как рентгеноструктурный и энергодисперсионный рентгеновский анализы. *Результаты и обсуждение.* Результаты рентгеноструктурного анализа показали, что основной фазой в анализируемых образцах является железосодержащий оксид кубической структуры NiFe₂O₄, а положение и относительная интенсивность пиков соответствуют стандарту JCPDS № 54–0964. Также энергодисперсионный рентгеновский анализ исследованных образцов показал, что нанопорошки состоят из элементов Ni, Fe и O, что свидетельствует о чистоте синтезированного образца и отсутствии каких-либо примесей. Спектр ИК-Фурье наночастиц NiFe₂O₄ показал два основных пика при 458 см⁻¹ и 548 см⁻¹, соответствующих полосе металл-

кислород. *Заключение.* Результаты исследования магнитных свойств полученных наночастиц NiFe₂O₄ показывают, что магнитные свойства изменяются в зависимости от компонентов сплава и фазового состава, то есть FeNiO (77% Fe₃O₄ - магнетит 23% Fe_{0,64}Ni_{0,36}) - частица Размер около 25 нм, многокомпонентный ферромагнитный порошок с преобладающей фазой магнетита, низкой коэрцитивной силой и относительно большими значениями намагниченности насыщения. Это означает, что они представляют собой магнитомягкий материал с высокими магнитными свойствами.

Ключевые слова: феррит никеля, шпинель, наночастицы, золь-гель синтез, магнитные свойства, дифракция рентгеновских лучей, EDS, FTIR, петли гистерезиса, ферримагнитный материал

Құдайбергенова Рабига Мусапаровна PhD

Байбазарова Эльвира Адильбековна Магистр химии

Хамзина Жұлдуз Базаралиевна PhD

References

1. Xu P. Use of iron oxide nanomaterials in wastewater treatment: a review. *Sci of the Total Env.*, **2012**, 424, 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.02.023>.
2. Kudaibergenova R., Ualibek O., Sugurbekov E., Demeuova G., Frochot C., Acherar S., Sugurbekova G. Reduced graphene oxide-based superhydrophobic magnetic nanomaterial as high selective and recyclable sorbent for oil/organic solvent wastewater treatment. *Inter J of Env Sci and Tech.*, **2022**, 19, 8491–8506. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03722-3>
3. Jeseentharani V., George M., Jeyaraj B., Dayalan A., Nagaraja K.S. Synthesis of metal ferrite (MFe₂O₄, M = Co, Cu, Mg, Ni, Zn) nanoparticles as humidity sensor materials. *J of Exp Nano.*, **2012**, 8, 358–370. DOI: <https://doi.org/10.1080/17458080.2012.690893>
4. Cheikh R.B., Abdelaziz B., Farouk Z., Juan J.G., Javier N., Rafik A.B., Houria D., Nor el Houda G., Mehdi A. Synthesis and characterization of NiFe₂O₄ nanoparticles as reusable magnetic nanocatalyst for organic dyes catalytic reduction: Study of the counter anion effect. *Mat Chem and Phys.*, **2022**, 292, 126793. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.126793>.
5. Juliet Christina Mary A., Sathish C.I., Kumar P.S.M., Vinu A., Chandra Bose A. Fabrication of hybrid supercapacitor device based on NiCo₂O₄@ZnCo₂O₄ and the biomass-derived N-doped activated a carbon with honeycomb structure. *Electrochim.*, **2020**, 342, 136062, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2020.136062>
6. Tang S. Review Magnetic nanoparticles: Essential factors for sustainable environmental applications. *Wat Res.*, **2013**, 47, 2613–2632 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.02.039>
7. Hoseini A.S., Khademolhoseini S. Investigation of the structural, optical and magnetic properties of nickel ferrite nanoparticles synthesized through modified sol–gel method. *J of Mat Sci: Mater in Elect.*, **2016**, 6, 27, 5943–5947. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10854-016-4514-5>
8. Sugurbekova G., Sugurbekov E., Demeuova G., Gabdullina A., Kudaibergenova R. Structural and magnetic behavior of MFe₂O₄ nanopowders for water treatment. *Key Eng Mat.*, **2024**, 974, 83–90. DOI: <https://doi.org/10.4028/p-15M14P>
9. Tsvetomila L., Milena G., Dimitar T., Dimitrinka Vo., Lyubomir A., Zara C., Daniela K. Influence of the type of fuel used for the solution combustion synthesis on the structure, morphology and magnetic properties of nanosized NiFe₂O₄. *J of Alloys and Comp.*, **2017**, 700, 272–283. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.01.055>
10. Priyadharshini P, Pushpanathan K. Synthesis of Ce-doped NiFe₂O₄ nanoparticles and their structural, optical, and magnetic properties. *Chem Phys Imp.*, **2023**, 6, 000201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2023.100201>

ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF MOLYBDENUM IN AN AQUEOUS SOLUTION OF DIMETHYLESULPHOXIDE

L.K. Kudreyeva*, M.B. Abu, A.M. Sarsenbayeva, D.Kh. Kamysbayev, K.A. Issabekova

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*E-mail: Leila.Kudreyeva@kaznu.kz

Abstract. Molybdenum and its compounds are widely used in production and industry due to their properties, such as mechanical strength, heat resistance, high electrical conductivity, high melting point and electrochemical catalytic activity. Therefore, their processing is undoubtedly a very urgent problem. One of the ways to solve this problem is associated with the use of aqueous-organic electrolyte solutions. The purpose of the work: to determine the patterns of electrochemical dissolution of molybdenum in aqueous solutions of dimethyl sulfoxide. Research methods. The work uses electrochemical (polarization measurements, electrolysis), X-ray spectral, microphotographs, and mathematical analysis methods. Results and discussion. Electrochemical dissolution of molybdenum in 0.25 M, 0.5 M, and 2 M LiCl solutions in an aqueous solution of dimethyl sulfoxide at different potential transfer rates is considered. The presence of water in electrolytes enhances the process of molybdenum transition into solution, the appropriate concentration of 0.25 M LiCl water was 38 mol/L H₂O. At these electrolyte concentrations, the thickness of the film formed on the molybdenum surface was estimated, the distance between adjacent defects, and the electrical conductivity of the film were determined. Concept. Electrochemical properties of the molybdenum electrode in an aqueous solution of dimethyl sulfoxide do not obey the laws of classical electrochemistry. Separation of molybdenum from the solid phase under such electrolytic conditions will undoubtedly have great application, for example, in the processing of solid foundry waste and the production of biosensors.

Keywords: molybdenum, electrochemical properties, dimethyl sulfoxide, shell, electrical conductivity, shell roughness, distance between adjacent defects.

<i>Leila Kadirsizovna Kudreyeva</i>	<i>PhD, associate professor; E-mail: leila.kudreyeva@kaznu.kz</i>
<i>Moldir Bakytzhanovna Abu</i>	<i>Master's degree; E-mail: Moldir10082000@gmail.com</i>
<i>Aliya Muratovna Sarsenbayeva</i>	<i>PhD student; E-mail: sarsenbayeva.aliya@yandex.kz</i>
<i>Duysek Khaisagalievich Kamysbayev</i>	<i>Doctor of chemical sciences, professor; E-mail: duisek.kamysbayev@kaznu.kz</i>
<i>Karina Askarovna Issabekova</i>	<i>Master's; E-mail: 19karina19park@gmail.com</i>

Citation: Kudreyeva L.K., Abu M.B., Sarsenbayeva A.M., Kamysbayev D.Kh., Issabekova K.A. Electrochemical properties of molybdenum in an aqueous solution of demithylesulphoxide. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 4(88), 95-102. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.52>

**МОЛИБДЕННИҢ СУЛЫ ДИМЕТИСУЛЬФОКСИД ЕРІТІНДІСІНДЕГІ
ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТІ***Л.К. Кудреева**, *М.Б. Абу*, *А.М. Сарсенбаева*, *Д.Х. Камысбаев*, *К.А. Исабекова**Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан***E-mail: Leila.Kudreyeva@kaznu.kz*

Түйіндеме. Кіріспе. Молибден және олардың қосылыстарының механикалық беріктігі, ыстыққа төзімділігі, жоғары электр өткізгіштігі, балқу температурасының жоғарылығы және электрохимиялық каталитикалық активтілігі сияқты қасиеттерінің болуына байланысты өндірісте және өнеркәсіпте жоғары қарқынды қолданылады. Сондықтан оларды өңдеу аса өзекті мәселе екені сөзсіз. Бұл мәселені шешудің бір жолы сулы-органикалық ерітінді электролиттерін қолданумен байланысты. Жұмыс мақсаты: сулы – диметилсульфоксид ерітінділерінде молибденнің электрохимиялық еру заңдылықтарын анықтау. Зерттеу әдістері. Жұмыста электрохимиялық (поляризациялық өлшеулер, электролиз), рентген-спектрлік, микрофотосуреттер, сонымен қатар математикалық талдау әдістері қолданылды. Нәтижелер мен талқылау. Сулы-диметилсульфоксид ерітіндісінде әртүрлі потенциал берілу жылдамдықтарында 0.25 М, 0.5М 2М LiCl ерітінділерінде молибденнің электрохимиялық еру қарастырылды. Электролиттерге су қатысуы молибденнің ерітіндіге өту процесін ұлғайтады, 0.25 М LiCl ДМСО судың қолайлы концентрациясы 38 моль/л Н₂О болып табылды. Аталған электролит концентрацияларында молибден бетінде түзілген қабыршақтың қалыңдығы бағаланып, кедергісі, сондай-ақ қабыршақтың электрөткізгіштігі анықталды. Тұжырым. Сулы-диметилсульфоксид ерітіндісінде молибден электродының электрохимиялық қасиеті классикалық электрохимия заңдарына аса бағынбайды, анықталған барлық заңдылықтар біртекті қатты электролиттер теориясы тұрғысынан қарастырылады. Осы электролит жағдайларымен қатты фазадан молибденді бөліп алу үлкен қолданысқа ие болатыны сөзсіз, мысалы: қатты құймалардың қалдықтарын қайта өңдеуде және биосенсорлар жасау өндірісінде қолданысқа ие болады.

Түйін сөздер: молибден, электрохимиялық қасиеті, диметилсульфоксид, қабыршақ, электрөткізгіштік, қабыршақ қылыңдығы.

<i>Лейла Кадирсизовна Кудреева</i>	<i>Химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор</i>
<i>Дүйсек Хайсағалиевич Камысбаев</i>	<i>Химия ғылымдарының докторы, профессор</i>
<i>Молдир Бакитжановна Абу</i>	<i>магистр, химик-ғылыми қызметкер</i>
<i>Алия Муратовна Сарсенбаева</i>	<i>докторант, химик-ғылыми қызметкер</i>
<i>Карина Аскаровна Исабекова</i>	<i>магистр</i>

1. Кіріспе

Молибден мен олардың қосылыстары электртехникада, биосенсорлар жасауда, аэроғарыш саласында, машина жасау аспаптарында, химиялық машина жасауда және де басқа да көптеген салаларда кең қолданысқа ие [1]. Соңғы уақытта молибден мен оның қосылыстарын өндірісте және өнеркәсіпте биосенсорлар жасауда қарқынды қолданып келеді [2-20].

Әдебиеттердегі мәліметтерді талдай келе, молибденнің электрохимиялық күйі әртүрлі жағдайларға тәуелді тек сілті, қышқыл және нитратты ерітінділерде зерттелгені анықталды [1, 21-22]. Бірақ, LiCl сулы диметилсульфоксид (ДМСО) электролиттерінде молибденнің электрохимиялық тотығу процесі зерттелмеген. Сондықтан, жұмыста сулы диметилсульфоксидті LiCl ерітінділерінде молибденнің электрохимиялық еру реакциясына судың әсері зерттелді.

2. Зерттеу әдістері

Молибденің электрхимиялық тотығуын вольтамперлік қисықтарды түсіру әдісімен «Metrohm, Autolab, потенциостат-101» вольтамперометриялық қондырғысында термостатты үш электродты ұяшықта зерттелінді. Жұмысшы (анод) электрод ретінде тефлонға престеліп, тығындалған молибден өзектерінен құралған стационарлы электродтар қолданылды.

Көмекші электрод ретінде платина пластинкасын, ал салыстырмалы электрод ретінде қаныққан литий хлоридінің ДМСО ертіндісіне батырылған хлор-күмісті электроды пайдаланылды.

Әр эксперимент алдында қондырғылар өзінің эксплуатациялық міндеттеріне сай жұмысқа дайындалып отырылды.

Электрод поляризациясы электрхимиялық процестердің өту жағдайы мен жұмысшы электродының табиғатына байланысты 0.00 ден 2.0В потенциал аралығында жүргізілді.

3. Зерттеу нәтижелері мен талқылануы

Сулы-ДМСО ерітінділерінде анодтық еру процесінен кейін электрод беті электронды микроскоптық және рентгенспектрлік әдістермен зерттелді. Анодтық поляризация кезінде түзілген қабыршақтар құрамы және құрылысы әр текті болатыны анықталды. Оларда “кеуекті құрылысты” – куысты ерекше активті аймақтар болу мүмкін, олар “иондардың ерекше кинетикасымен” сипатталады, сондай-ақ электрод бетінде активті және пассивті аймақтар болу мүмкін [23-24].

Әртүрлі аймақта қабыршақ құрылысы біркелкі болмайтыны байқалды, сонымен қатар оны рентгенспектрлік талдау нәтижелерінен де көруге болады[1].

Рентгенспектрлік талдау нәтижелері 1-кестеде бейнеленген. Ақ дақтар кристалды құрылысты типтес беттік құрылымдар, сонымен қатар ақ дақ бар аймақтарда да хлор мөлшері жоғары болуын байқауға болады (1-кесте). Ақ дақтар молибденнің тұзды қосылыстарынан (мысалы, $MoCl_n$) тұратын қабыршақтар екені анықталды. Мұндай қосылыстардың болуы, Мо электроды бетінде коррозия процесі нәтижесінде қабыршақтар түзілетіні белгілі [1].

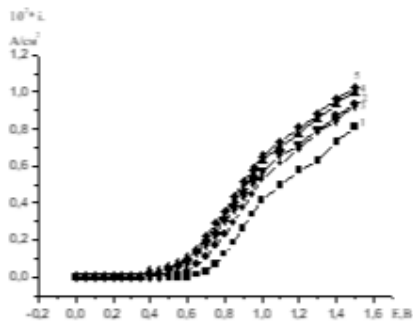
Кесте 1 - Молибденді ДМСО 2М LiCl ерітінділеріне 33моль/л су қатысында анодтық еру процесінен кейінгі рентгенспектрлік талдау нәтижелері.

Элементтер мөлшері, %						Жалпы құрамы, %
Na	Cl	K	Ca	Mo	O	
0.24	2.64	0.94	0.29	89.18	4.7	99.9
-	-	-	-	93.82	6.18	100
0.32	-	-	-	92.81	6.87	100

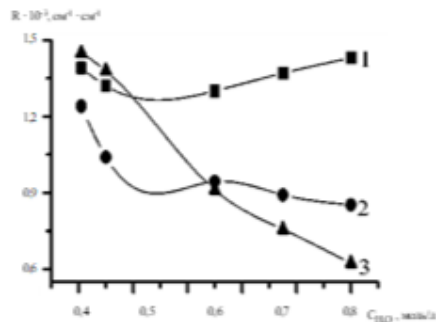
Микросуреттерден (кара дақтар) және рентгенспектрлік талдау қорытындыларынан молибден оксидтерінен тұратынын (оксидтер мөлшері жоғары) молибден қосылыстарының болуынан деп жобалаймыз. Электронды микроскоптық және рентгенспектрлік зерттеу нәтижелерінен (1-кесте) қабыршақтың құрамына келесі элементтер кіреді: молибден, хлор, оттегі. Молибден электродының бетін рентгенспектралды талдау нәтижесінен құрылысы әртекті, яғни оксидтік, тұздық, сонымен қатар еріткіштердің электрполимерлену нәтижесінде полимер табиғатты қабыршақтар түзілуі мүмкін екенін көруге болады.

LiCl әртүрлі концентрацияларында су-DMCO ерітінділерінің вольтамперлік қисықтары түсірілді. Қисықтардың пішіні сусыз DMCO ерітінділеріндегі молибденнің электрхимиялық поляризациялық қисықтары тәріздес болатынын көруге болады, бірақ су-DMCO ерітінділерінде ток тығыздығының мәні өте жоғары [1]. LiCl барлық концентрациясы үшін суды үстемелеп қосу молибденнің анодтық еруін ұлғайтады, ал LiCl концентрациясының әсері әртүрлі. Мысалы, 1-суретте 0.25M LiCl 0.1-10 моль/л суда шамамен 0,008-0,01 А/см², 0,5M LiCl 0,1-10 моль/л суда шамамен 0.011-0.014 А/см², ал 2 M LiCl 0.1-10 моль/л суда шамамен 0.065-0.25 А/см². Су концентрациясының өсуімен және 2 M LiCl ерітінділерінде молибденнің электрхимиялық еруі 0.25 M және 0.5 M LiCl-DMCO ерітінділерімен салыстырғанда жоғары болып табылады, 2-суреттегі DMCO LiCl, су концентрациясының кедергіге тәуелділігі қисығынан көруге болады. Оның себебі, молибденнің электрхимиялық еруіне аниондар әсерінің болуынан деп есептелді. Поляризациялық түзудің иілу бұрышы қабыршақтың кедергісі мен қалыңдығын сипаттайтыны бізге белгілі [1, 24-25]. Міне, осыған байланысты 2-суретте су концентрациясының кедергіге тәуелді графигі кескінделген. Су концентрациясының өсуімен кедергі заңды тұрғыда төмендейді, сонымен қатар 0.25 M және 2 M LiCl (DMCO) ерітінділерінде қабыршақтың өткізгіштігі өседі, яғни қабыршақтың кедергісі төмендейді. Мұны су және хлорид иондарының әсерінен және қабыршақтың бетінде MoO₂ және Mo₂O₅ қосылыстарының MoO₄²⁻ дейін тотығуынан деп түсіндіруге болады. 3-4 - суреттерінде судың әртүрлі концентрацияларында DMCO 0.25 M LiCl, молибденнің анодтық тотығуын өрнектейтін потенциалдың I_{g1} арасындағы тәуелділік графигі кескінделген. Барлық I_{g1}-E координаттарындағы графиктер түзу сызыққа біршама жақындағанын байқаймыз, мұндай кішкене бүгілістің болуы, поляризациялық қисықтарды түсіру барысында қабыршақтардың қалыңдығында өзгерістер болуы мүмкін. Кейін, поляризациялық қисықтарды түзу сызықты жағдай туындайтындай және қабыршақ қалыңдығын ескере отыратын жолмен өңделді, ол үшін интегралдап, яғни интегралдаған потенциалмен I_{g1} арасындағы тәуелділік графигі су қатысуымен 0.25 M LiCl ерітінділерінде тұрғызылды (3-4 суреттер). Қисықтардан 0.8-1.6 В потенциалдар аралығындағы түзу сызықты аймақтарды айқын көруге болады (1, 3-4 суреттер). Әдебиеттерге [1]

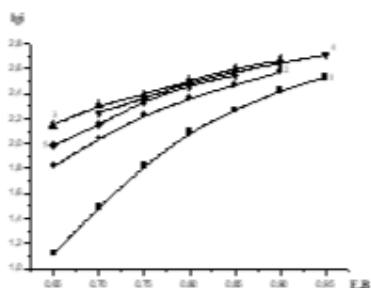
негіздей отырып, сол аймақтардан қабыршақтың қалыңдығы мен электр өткізгіштігі зерттелінді (5-6 суреттер).



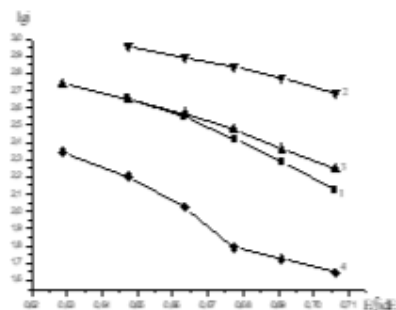
1- 0, 1; 2- 1; 3- 5; 4- 7,5; 5- 10 моль/л Н₂O.
Сурет 1 - ДМСО 0,25М LiCl, 50мВ/с-та Mo
поляризациялық қисықтары



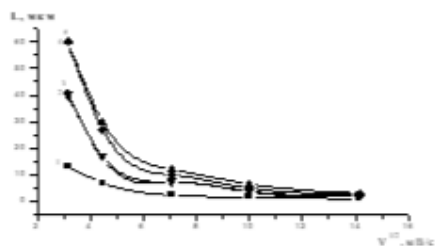
1 - 0,25; 2 - 0,5; 3 - 2М LiCl
Сурет 2 - ДМСО LiCl, су концентрациясының
кедергіге тәуелділігі



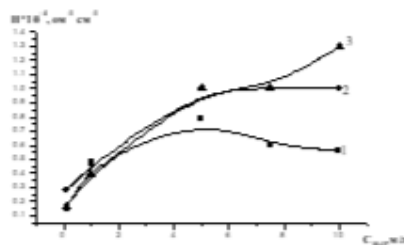
1-0, 1; 2- 1; 3- 5; 4- 7,5; 5- 10 моль/л Н₂O
Сурет 3 - ДМСО 0,25М LiCl, Mo, E мен І_с
арасындағы тәуелділік графигі



1-0, 1; 2- 1; 3- 5; 4- 7,5; 5- 10 моль/л Н₂O
Сурет 4 - ДМСО 0,25М LiCl, E/І_сE мен І_с
арасындағы тәуелділігі



0, 1; 2- 1; 3- 5; 4- 7,5; 5- 10 моль/л Н₂O
Сурет 5 - ДМСО 0,25 М LiCl, потенциал берілу
жылдамдығына қабыршақтың қалыңдығының тәуелділігі

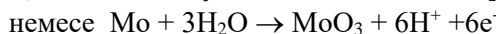
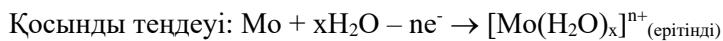


1-0,25, 2-0,5, 3-2М LiCl
Сурет 6 - Судың концентрациясына
электрөткізгіштіктің тәуелділігі

5 - суреттен потенциал берілу жылдамдығының өсуімен қабыршақтың қалыңдығы төмендейді, бұл құбылыс LiCl барлық концентрациясы үшін байқалады, себебі жоғары потенциал берілу жылдамдығында қабыршақтың қалыңдығы жұқа болады. 6 -суретте 0.25 М, 0.5 М және 2 М LiCl, 50 мВ/с, су концентрациясына электрөткізгіштіктің тәуелділік графигі көрсетілген. LiCl барлық концентрацияларында, судың концентрациясының өсуімен қабыршақтың қалыңдығы өседі. Қабыршақта электрөткізгіштігі жоғары ерекше аймақтар болуынан, қабыршақтың өткізгіштігі өседі.

Сонымен, LiCl барлық концентрацияларында суды үстемелеудің өсуімен өткізгіштік өседі, осы ерітінділерден құралған қабыршақ әрі қарай еруі мүмкін.

Молибденнің еру реакциясы сатылы тұрғыда жүзеге асады [1]:



4. Қорытынды

Молибден электродының электрхимиялық еру заңдылығын зерттеу нәтижесінде алынған мәліметтерді талдай келе, келесі қорытындыларды жасауға болады:

1. Молибден электродының электрхимиялық күйі классикалық электрхимия заңдарына аса бағынбайды, анықталған барлық заңдылықтар біртекті қатты электролиттер теориясы тұрғысынан қарастырылады.

2. Молибденнің электрхимиялық еру процесінен кейін де электрод бетінде қабыршақ болуын электронды микроскоптық және рентгенспектрлік талдау нәтижелерінің қорытындыларынан айтуға болады. Электрод бетінде түзілген қабыршақтың қалыңдығы, кедергісі және электр өткізгіштігі зерттелді.

3. Жоғарыда аталып кеткен электролиттерге су қатысуы молибденнің ерітіндіге өту процесін ұлғайтады, 0.25 М LiCl ДМСО ерітіндісі үшін судың қолайлы концентрациясы 38 моль/л H₂O болып табылды.

Қаржыландыру: Бұл зерттеу жұмысын Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары Білім Министрлігінің Ғылым Комитеті қаржыландырады (Грант ИРН АР23490197).

Мүдделер қактығысы: авторлар бұл мақалада мүдделер қактығысының жоқтығын мәлімдейді.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОЛИБДЕНА В ВОДНОМ РАСТВОРЕ ДИМЕТИСУЛЬФОКСИДА

Л.К. Кудреева, М.Б. Абу, А.М. Сарсенбаева, Д.Х. Камысбаев, К.А. Исабекова*
Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

*E-mail: Leila.Kudreyeva@kaznu.kz

Резюме. *Введение.* Молибден и его соединения широко используются в производстве и промышленности благодаря своим свойствам, таким как механическая прочность, термостойкость, высокая электропроводность, высокая температура плавления и электрохимическая каталитическая активность. Поэтому их переработка, несомненно, является весьма актуальной проблемой. Один из способов решения этой проблемы связан с использованием водно-органических растворов электролитов. *Цель работы:* определить закономерности электрохимического растворения молибдена в водных диметилсульфоксида растворах электролитов. *Метод исследования.* В работе использованы электрохимические (поляризационные измерения, электролиз), рентгеноспектральные анализы, микрофотографии, а также методы математического анализа. *Результаты и обсуждение.* Рассмотрено электрохимическое растворение молибдена в 0,25 М, 0,5 М, 2 М растворах LiCl в водном растворе диметилсульфоксида при различных скоростях развертки потенциала. Наличие воды в электролитах усиливает процесс перехода молибдена в раствор, подходящей концентрацией 0,25 М воды LiCl ДМСО оказалось 38 моль/л H₂O. При этих концентрациях электролита оценивали толщину пленки, образующейся на поверхности молибдена, определяли сопротивление толщины пленки, а также электропроводность пленки. *Заключение.* Электрохимические свойства молибденового электрода в водном растворе диметилсульфоксида не подчиняются законам классической электрохимии. Отделение молибдена от твердой фазы в таких электролитных условиях, несомненно, будет иметь большое применение, например, при переработке твердых отходов и производстве биосенсоров.

Ключевые слова: молибден, электрохимические свойства, диметилсульфоксид, пленки, электропроводность, толщина пленки.

Кудреева Лейла Кадирсизовна

ассоциированный профессор

Абу Молдир Бакитжановна

магистр, научный сотрудник

Сарсенбаева Алия Муратовна

докторант

Камысбаев Дуйсек Хайсағалиевич

доктор химических наук, профессор

Исабекова Карина Аскарровна

магистрант

References

1. Кудреева Л.К. Молибден мен вольфрамды электрхимиялық жолмен еріту Монография. Алматы: Қазақ университеті, **2020**, 180 б. <https://pps.kaznu.kz/ru/Main/FileShow2/223728/73/1/611/2020//>
2. Dhas N. et al. Molybdenum-based hetero-nanocomposites for cancer therapy, diagnosis and biosensing application: Current advancement and future breakthroughs. *J. Control. Release.*, **2021**, 330, 257–283. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2020.12.015>.
3. Sobańska Z. et al. Biological effects of molybdenum compounds in nanosized forms under in vitro and in vivo conditions. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health.*, **2020**, 33, No.1, 1–19. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01411>
4. Guo Y., Li J. MoS₂ quantum dots: synthesis, properties and biological applications. *Mater. Sci. Eng. C. Elsevier B.V.*, **2020**, 109, 110511. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.110511>
5. Kasinathan K. et al. Cyclodextrin functionalized multi-layered MoS₂ nanosheets and its biocidal activity against pathogenic bacteria and MCF-7 breast cancer cells: Synthesis, characterization and in-vitro biomedical evaluation. *J. Mol. Liq. Elsevier B.V.*, **2021**, 323, 114631. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114631>
6. Vasudevan M. et al. Cellulose acetate-MoS₂ nanopetal hybrid: A highly sensitive and selective electrochemical aptasensor of Troponin I for the early diagnosis of Acute Myocardial Infarction. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng. Elsevier B.V.*, **2021**, 000, No.1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2021.01.016>
7. Zhao H. et al. Electrochemical immunosensor based on Au/Co-BDC/MoS₂ and DPCN/MoS₂ for the detection of cardiac troponin I. *Biosens. Bioelectron.*, **2021**, 175, 112883. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112883>

8. Jilil O., Pandey C.M., Kumar D. Highly sensitive electrochemical detection of cancer biomarker based on anti-EpCAM conjugated molybdenum disulfide grafted reduced graphene oxide nanohybrid. *Bioelectrochem. Elsevier B.V.*, **2021**, 138, 107733. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2020.107733>
9. Panneer Selvam S., Chinnadayala S.R., Cho S. Electrochemical nanobiosensor for early detection of rheumatoid arthritis biomarker: Anti- cyclic citrullinated peptide antibodies based on polyaniline (PANI)/MoS₂-modified screen-printed electrode with PANI-Au nanomatrix-based signal amplification. *Sensors Actuators B Chem. Elsevier B.V.*, **2021**, 333, 129570. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.129570>
10. Lu J. et al. Molybdenum disulfide nanosheets: From exfoliation preparation to biosensing and cancer therapy applications. *Colloids Surfaces B: Biointerfaces.*, **2020**, 194, 1111162. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2020.111162>
11. Liu C. et al. Fabrication of a novel nanocomposite electrode with ZnO-MoO₃ and biochar derived from mushroom biomaterials for the detection of acetaminophen in the presence of DA. *Microchem. J. Elsevier B.V.*, **2021**, 161, 105719. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105719>
12. Roy N., Yasmin S., Jeon S. Effective electrochemical detection of dopamine with highly active molybdenum oxide nanoparticles decorated on 2, 6 diaminopyridine/reduced graphene oxide. *Microchem. J.*, **2020**, 153, 104501. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104501>
13. Singh G., Kushwaha A., Sharma M. Electrochemistry of rGO-Cu₃H₂Mo₂O₁₀ cuboidal nanostructures: An effective detection of neurotransmitter dopamine in blood serum sample. *J. Electroanal. Chem. Elsevier B.V.*, **2021**, 880, 114889. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114889>
14. Mohamed Azharudeen A. et al. Selective enhancement of non-enzymatic glucose sensor by used PVP modified on α -MoO₃ nanomaterials. *Microchem. J.*, **2020**, 157, 105006. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105006>
15. Antoniazzi C. et al. Molybdenum trioxide incorporated in a carbon paste as a sensitive device for bisphenol A monitoring. *Microchem. J.*, **2020**, 159, 105528. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105528>
16. Cong Y. et al. Fabrication of electrochemically-modified BiVO₄-MoS₂-Co₃O₄ composite film for bisphenol A degradation. *J. Environ. Sci.*, **2021**, 102, 341–351. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.09.027>
17. Hun X., Kong X. An enzyme linked aptamer photoelectrochemical biosensor for Tau-381 protein using AuNPs/MoSe₂ as sensing material. *J. Pharm. Biomed. Anal. Elsevier B.V.*, **2021**, 192, 113666. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2020.113666>
18. Lei P., Ayton S., Bush A.I. The essential elements of Alzheimer's disease. *J. Biol. Chem. Elsevier B.V.*, **2021**, 296, 100105. <https://doi.org/10.1074/jbc.rev120.008207>
19. Guo T. et al. Longitudinal Cognitive and Biomarker Measurements Support a Unidirectional Pathway in Alzheimer's Disease Pathophysiology. *Biol. Psychiatry. Elsevier Inc.*, **2021**, 89, No.8, 789-794. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2020.06.029>
20. Schneider M., Šimůnková L., Michaelis A., Hoogsteen W. Electrochemical machining of molybdenum. *Int. J. of Refractory Metals and Hard Materials.*, **2021**, 101, 105689. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2021.105689>
21. Kudreeva L.K., Kurbatov A.P., Kamysbayev D.Kh., Kalyeva A.R. Electrochemical Separation of Molybdenum and Tungsten Using Aqueous-Organic Electrolytes. *Eurasian Chem.-Technol. J.*, **2020**, 22, No.3, 227–233. <https://doi.org/10.18321/ectj980>
22. Vetter K.J., Gor F. The anodic oxide of in salts solutions. *J. Elektrochim.*, **1973**, 18, No.4, 321. [https://doi.org/10.1016/0013-4686\(73\)80036-2](https://doi.org/10.1016/0013-4686(73)80036-2)
23. Peled E., Yamin H. Solid electrolyte interphase electrodes Part. The kinetics of lithium in Li-AlCl₄-SOCl₂. *Isr. J Chem.*, **1979**, 18, No.1-2, 131-135. <https://doi.org/10.1002/ijch.197900016>
24. Курбатов А.П. Коррозионные процессы на литии в электролитах химических источников тока. *Дисс. Канд. Хим. Наук* [Corrosion processes on lithium in electrolytes of chemical current sources. Ph.D. chem. sci. diss.]. Алматы, КазГУ им. аль-Фараби., **1998**. 150 с. <https://fizmathim.com/korrozionnye-protsessy-na-litii-v-elektrolitah-himicheskikh-istochnikov-toka>

THE AMINO- AND FATTY ACID COMPOSITION OF SEEDS *CANAVALIA ENSIFORMIS* (L.) DC

Zh.N. Uvaniskanova^{*}, G.A. Seitimova¹, G.Sh. Burasheva¹, M.I. Choudhary²

¹Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Chemistry and Chemical Technology,
Almaty, Kazakhstan

²International Center for Chemical and Biological Sciences, H.E.J. Research Institute of Chemistry and
Dr. Panjwani Center for Molecular Medicine and Drug Research, University of Karachi,
Karachi, Pakistan

*E-mail: zhuldyz.uvaniskanova@gmail.com

Abstract: *Introduction.* This study aims to analyze the amino- and fatty acid composition of *Canavalia ensiformis* (L.) DC. seeds using various analytical methods. The findings will support the development of a biologically active composition with potential applications in pharmaceuticals. *Objectives.* The study focuses on evaluating the amino- and fatty acid composition of *Canavalia ensiformis* seeds. *Methods.* Seed quality assessment was performed in accordance with the requirements of the State Pharmacopoeia of the Republic of Kazakhstan. The *Canavalia ensiformis* seeds were extracted and subsequently fractionated using solvents with progressively increasing polarity. Chromatographic methods, including HPLC and GC-MS, were employed to analyze the amino and fatty acid composition. *Results and Discussion.* An optimal solvent was selected for the extraction process. The fatty acid composition was assessed through methylation, and a comparative analysis of amino acids in the butanol and aqueous extracts was conducted. *Conclusion.* The results provide a comprehensive understanding of the composition of *Canavalia ensiformis* seeds and offer insights into their potential use in developing biologically active compositions. This research holds significance for the pharmaceutical industry, as it opens new avenues for creating plant-based drugs with possible therapeutic benefits.

Keywords: *Canavalia ensiformis*, maceration, GC-MS, fatty acid, amino acid.

<i>Uvaniskanova Zhuldyz Naimangazykyzy</i>	Master of engineering sciences; Email: zhuldyz.uvaniskanova@gmail.com
<i>Seitimova Gulnaz Absattarovna</i>	PhD, Associated Professor; Email: sitigulnaz@mail.ru
<i>Burasheva Gaukhar Shahmanovna</i>	Doctor of Chemical Sciences, Professor; Email: gauharbur@mail.ru
<i>Muhammad Iqbal Choudhary</i>	D.Sc., PhD., Professor; Email: iqbal.choudhary@iccs.edu

Citation: Zh.N. Uvaniskanova, G.A. Seitimova, G.Sh. Burasheva, M.I. Choudhary. The amino- and fatty acid composition of seeds *canavalia ensiformis* (L.) DC. *Chem. J. Kaz.*, **2024**, 4(88), 103-112. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.53>

АМИНО- И ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ СЕМЯН КАНАВИЛИИ МЕЧЕВИДНОЙ (CANAVALLIA ENSIFORMIS (L.) DC)**Ж.Н. Уванисканова^{1*}, Г.А. Сейтимова¹, Г.Ш. Бурашева¹, М.И. Чаудхари²**¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, факультет химии и химической технологии, Алматы, Казахстан²Международный центр химических и биологических наук, Н.Е.Д. научно-исследовательский институт химии и Центр молекулярной медицины и исследований лекарств имени доктора Панжвани, Университет Карачи, Карачи, Пакистан

*E-mail: zhuldyz.uvaniskanova@gmail.com

Резюме: *Введение.* Настоящее исследование направлено на изучение аминокислотного состава семян *Canavalia ensiformis* (L.) DC с применением различных методов анализа. Результаты исследования будут использованы для создания биологически активной композиции с возможностью её применения в фармацевтике. *Целью* данной работы является оценка аминокислотного состава семян *Canavalia ensiformis*. *Методы исследования.* Доброкачественность семян проводилась в соответствии требованиями Государственной фармакопеи Республики Казахстан. Семена *Canavalia ensiformis* экстрагировали, после чего проводили обработку с последовательным повышением полярности растворителей. В данном исследовании аминокислотный состав семян проанализирован методами ВЭЖХ и ГХ-МС. *Результаты и обсуждения.* Проведен подбор оптимального растворителя. Изучен жирнокислотный состав методом метилирования. Кроме того, проведён сравнительный анализ аминокислот бутанольного и водного экстрактов. *Заключение.* Полученные результаты способствуют изучению состава семян *Canavalia ensiformis* и позволяют прогнозировать применение в разработке биологически активных композиций. Настоящее исследование имеет важное значение для фармацевтической отрасли, поскольку открывает новые возможности для создания препаратов на основе растительных компонентов с потенциальной терапевтической активностью.

Ключевые слова: *Canavalia ensiformis*, мацерация, ГХ-МС, жирные кислоты, аминокислоты.

<i>Уванисканова Жұлдыз Наймангазықызы</i>	<i>Магистр технических наук</i>
<i>Сейтимова Гульназ Абсаттаровна</i>	<i>PhD, ассоциированный профессор</i>
<i>Бурашева Гаухар Шахмановна</i>	<i>Доктор химических наук, профессор</i>
<i>Мухаммад Икбал Чаудхари</i>	<i>PhD, доктор, профессор</i>

1. Введение

Несмотря на значительный прогресс в использовании синтетических препаратов, средства природного происхождения занимают всё более важное место в клинической практике. Растительные фармакологически активные компоненты, как правило, обладают высокой биодоступностью, минимизируют побочные эффекты и характеризуются низкой токсичностью. Лекарственные растения содержат не только активные, но и вспомогательные и балластные вещества, которые совместно формируют общий терапевтический эффект, дополняя и усиливая действие активных компонентов [1]. Среди растительного сырья бобовые культуры особенно ценятся как источник белка, незаменимых аминокислот, пищевых волокон, витаминов группы В и минералов [2]. В связи с этим растёт интерес к изучению бобовых культур, обладающих уникальными фармакологически

активными компонентами, которые могут служить основой для создания эффективных и безопасных препаратов.

Canavalia ensiformis (L.) DC. относится к отряду *Fabales*, семейству *Fabaceae* Lindl., подсемейству *Faboideae*, произрастает в Центральной Америке и в Западной Индии и широко культивируется в тропических и субтропических регионах [3, 4]. В биохимических исследованиях семена *C. ensiformis* являются перспективным источником растительного белка, в частности конканавалина А (класс лектинов), который обладает способностью связываться с углеводными остатками на поверхности клеток [5-7]. Уреаза и лектин из *C. ensiformis* являются широко изученными белками и яркими примерами важности биологически активных соединений этого вида растений [8-10].

2. Экспериментальная часть

Объектом исследования являются семена *Canavalia ensiformis*, собранные во время плодоношения в окрестностях г. Карачи (Пакистан).

Измельчённые семена *C. ensiformis* (10 кг) экстрагировали путем мацерации в течение 72 часов при комнатной температуре, 80%-ным этанолом, трехкратно. Этанольный экстракт концентрировали на ротационном испарителе до получения густого экстракта (427 г). Густой экстракт растворяли в воде, а затем последовательно обработали следующими растворителями: *n*-гексан (85 г), дихлорметан (3.67 г), этилацетат (2.66 г) и *n*-бутанол (49 г). Каждый экстракт концентрировали. Качественный состав экстрактов исследовали методом тонкослойной (ТСХ) и бумажной (БХ) хроматографией.

Выделение метилпроизводных жирных кислот. Гексановый экстракт семян 200 мкл поместили в круглодонную колбу, добавили 4 мл 0.5М КОН в метаноле. Содержимое присоединяли к обратному холодильнику и нагревали на водяной бане до кипения (15 мин.). После этого добавили 1,6 мл раствора HCl в метаноле (соотношение 4:1) и продолжали кипячение в течение 25 минут. Затем смесь охладили, добавили 8 мл дистиллированной воды, а затем 6 мл *n*-гексана. Содержимое колбы перенесли в стеклянную пробирку, обеспечив отделение слоя гексана. Гексановый слой осушили сульфатом натрия и отфильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0.45 мкм.

Состав жирных кислот анализировали на хроматографе Agilent 7890N, оснащенным масс-детектором Agilent system Triple Quad 7000A, в режиме EI при 70 эВ (диапазон m/z 40-600 а.е.м) с температурой ионов 250 °С и датчиком Agilent. Информационная система ChemStation. ГХ оснащен колонкой AGILENTDB-35-MS (30 м×320 мкм×0.25 мкм), инжектором без деления, нагреваемым при 200 °С, и пламенно-ионизационным детектором (FID) при 230 °С.

Аминокислотный состав экстрактов семян изучали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуоресцентной

детекцией (ВЭЖХ-FLD) с использованием жидкостного хроматографа Agilent 1200 (Agilent Technologies, США). Разделение проводили на хроматографической колонке Kinetex EVO C18 (4.6 ± 100 мм, 2.6 мкм) (Phenomenex, США). Проба подготовка экстрактов семян проводили согласно МВИ МН 1363-2000 [11].

Условия хроматографии:

Подвижная фаза А	AcN:MeOH:H ₂ O (45:45:10)
Подвижная фаза Д	10 мМ Na ₂ HPO ₄ , 10 мМ Na ₂ B ₄ O ₇ , 0.5 мМ NaN ₃ (рН=8.2)
Скорость потока	1.150 мл/мин
Температура колонки	40°С
Объем инъекции	5 мкл
Время остановки	16 мин

3. Результаты и обсуждение

Доброкачественность семян *Canavalia ensiformis* определяют по общепринятым методикам установленным в Государственной фармакопее РК I издания (Таб. 1). Влажность и общая зольность, являются ключевыми факторами контроля качества исследуемых растительных объектов [12].

Экстрактивные вещества в растительном сырье – это биологически активные соединения, извлекаемые с помощью различных растворителей. Такой подход позволяет определить оптимальный подбор растворителя для максимального выхода экстрактивных веществ, что важно для получения качественных растительных экстрактов. По результатам анализа, наибольший выход экстрактивных веществ выявлено при использовании 80%-ного раствора этанола (25.86%).

Таблица 1 – Показатели доброкачественности семян *Canavalia ensiformis*

Наименование растительного сырья	Влажность, %	Общая зола, %	Экстрактивность в 30% этаноле, %	Экстрактивность в 50% этаноле, %	Экстрактивность в 80% этаноле, %
<i>Canavalia ensiformis</i>	6.51	3.87	17.96	23.81	25.86

Гексановый экстракт семян *Canavalia ensiformis* исследован методом ГХ-МС, результате идентифицированы 13 соединений (Табл. 2). Наибольшее содержание в гексановом экстракте имеют два основных соединения – лупеол (42.04%), обладающий антиоксидантными и противовоспалительными свойствами [13], и 2-пирролидинон, 1-(9-октадецениловый) (18.92%).

Таблица 2 – ГХ-МС анализ гексанового экстракта семян *Canavalia ensiformis*.

Время удержания (мин)	Линейный индекс удерживания	Содержания, (%)	Наименование соединения	Брутто формула
22	1978	3.2	Этиловый эфир пальмитиновой кислоты	$C_{18}H_{36}O_2$
26	2185	6.3	Этиловый эфир олеиновой кислоты	$C_{20}H_{38}O_2$
26.2	2453	9.09	Пальмитоил этаноламид	$C_{18}H_{37}NO_2$
30.2	1389	1.69	Метилдодециловый эфир	$C_{13}H_{28}O$
32.5	2618	18.92	2-Пирролидинон, 1-(9-октадецениловый)	$C_{22}H_{41}NO$
32.6	2356	4.69	Пирролидин, 1-(1-оксо-7,10-гексадекраденильный)	$C_{20}H_{35}NO$
33.1	2572	1.18	БраССИДИНОВАЯ КИСЛОТА	$C_{22}H_{42}O_2$
34.4	1431	8.44	2-диметиламиноэтиловый эфир октановой кислоты	$C_{12}H_{25}NO_2$
34.6	2330	1.96	2Н-Бензооксиренобензофуран-9-метил	$C_{19}H_{32}N_2O_3$
34.9	2453	0.5	Ацетат (эфир) дасикарипидана-1-метанола	$C_{20}H_{26}N_2O_2$
35.3	2705	0.87	2-Моноолеин	$C_{21}H_{40}O_4$
38.1	3942	1.11	1-Гептатриакотанол	$C_{37}H_{76}O$
46.8	2848	42.04	Лупеол	$C_{30}H_{50}O$

Получение метилпроизводных гексанового экстракта позволило идентифицировать 33 соединения методом ГХ-МС (Таб. 3). Высокое содержание *транс*-вакценовой кислоты (44.64%), являющейся важной ненасыщенной жирной кислотой, обладающей антиоксидантными и противовоспалительными свойствами [14], открывает возможности для её применения в области нутрицевтики.

Кроме того, обнаружено преобладание метиловых эфиров пальмитиновой (21.81%) и линолевой (15.8%) кислот, которые играют важную роль в метаболизме и могут оказывать влияние на здоровье человека.

Таблица 3 – Жирно-кислотный состав гексанового экстракта семян *Canavalia ensiformis* с помощью ГХ-МС анализа

Время удержания (мин)	Линейный индекс удерживания	Содержания (%)	Наименование соединения	Брутто формула
41.3	1680	0.32	Метилвый эфир миристиновой кислоты	$C_{15}H_{30}O_2$
44	2085	0.02	Метилвый эфир олеиновой кислоты	$C_{19}H_{36}O_2$
44.5	2085	0.05	Метилвый эфир олеиновой кислоты	$C_{19}H_{36}O_2$
44.6	1779	0.29	Метилвый эфир пентадекановой кислоты	$C_{16}H_{32}O_2$
47.5	1886	0.73	Метилвый эфир пальмитолеиновой кислоты	$C_{17}H_{32}O_2$
47.7	1886	0.64	Метилвый эфир пальмитолеиновой кислоты	$C_{17}H_{32}O_2$
48	1878	21.81	Метилвый эфир пальмитиновая кислоты	$C_{17}H_{34}O_2$
50.8	1986	0.11	Метилвый эфир цис-10-гептадеценной кислоты	$C_{18}H_{34}O_2$
50.9	1986	0.02	Метил-9-гептадеценоат или 9-17:1	$C_{18}H_{34}O_2$
51.1	1978	0.2	Метилвый эфир гептадекановой кислоты	$C_{18}H_{36}O_2$
52.5	2041	0.15	Метил-2-гидроксигексадеканат	$C_{17}H_{34}O_3$
54	2085	44.64	Метилвый эфир <i>транс</i> -вакценовой кислоты	$C_{19}H_{36}O_2$
54.2	2093	15.8	Метилвый эфир линолевой кислоты	$C_{19}H_{34}O_2$
54.3	2085	0.04	Метилвый эфир олеиновой кислоты	$C_{19}H_{36}O_2$
54.7	2101	7.32	Метилвый эфир линоленовой кислоты	$C_{19}H_{32}O_2$
61	2284	0.54	Метилвый эфир 11-эйкозеновой кислоты	$C_{21}H_{40}O_2$
61.6	2276	0.16	Метилвый эфир эйкозеновой кислоты	$C_{21}H_{42}O_2$
75.7	2475	0.12	Метилвый эфир докозеновой кислоты	$C_{23}H_{46}O_2$
77.4	2402	0.59	Метилвый эфир 9,10-дигидрокси-, октадекановой кислоты	$C_{19}H_{38}O_4$
79.3	2510	0.05	Метил 21-метилдокозаноат	$C_{24}H_{48}O_2$
81.2	2674	0.57	Метилвый эфир тетракозеновой кислоты	$C_{25}H_{50}O_2$
82.3	3093	0.1	2,2,4-Триметил-3-(3,8,12,16-тетраметилгептадецил-3,7,11,15-тетраметил)-циклогексанол	$C_{30}H_{52}O$
82.5	2773	0.12	Метилвый эфир пентакозеновой кислоты	$C_{26}H_{52}O_2$

Продолжение таблицы 3

83.2	3094	0.07	Этиловый изо-аллохолат	$C_{26}H_{44}O_5$
83.5	2872	0.15	Метилвый эфир гексаказановой кислоты	$C_{27}H_{54}O_2$
85.6	3094	0.05	Этиловый изо-аллохолат	$C_{26}H_{44}O_5$
85.8	3094	0.02	Этиловый изо-аллохолат	$C_{26}H_{44}O_5$
88.3	2739	0.21	Стигмастерол	$C_{29}H_{48}O$
89.1	2731	0.09	β -Стигмастерол	$C_{29}H_{50}O$
90.4	3942	0.14	1-Гептатриакотанол	$C_{37}H_{76}O$
90.9	3094	0.04	Этиловый изо-аллохолат	$C_{26}H_{44}O_5$
91	3145	0.06	7,8-Эпоксиланостан-11-ол, 3-ацетокси-	$C_{32}H_{54}O_4$
91.4	2848	4.8	Лулеол	$C_{30}H_{50}O$

Ряд исследований [15–16] направлены на изучение аминокислотного состава семян с использованием методов, таких как замачивание, автоклавирование и применение различных растворителей, что связано с важной ролью аминокислот как структурных компонентов семян. Это послужило основанием для анализа аминокислотного состава экстрактов семян *C. ensiformis*, полученных на основе полярных растворителей, в результате которого идентифицировано 17 аминокислот (Табл. 4).

Таблица 4 – Аминокислотный состав бутанольного и водного экстрактов семян *Canavalia ensiformis*

Наименование аминокислот	мг/100 г	
	Водный экстракт	Бутанольный экстракт
Аспарагиновая кислота	1158.06	1221.31
Глутаминовая кислота	2049.82	2464.91
Серин	324.04	483.05
Гистидин	1114.32	2534.57
Глицин	284.52	744.37
Треонин	173.13	697.56
Аргинин	2317.14	889.38
Аланин	158.24	-
Тирозин	1363.71	566.09
Цистин	6837.45	-
Валин	-	580.59
Метионин	167.54	501.94
Триптофан	2639.54	426.57
Фенилаланин	2480.84	1079.38
Изолейцин	-	642.61
Лейцин	335.78	-
Лизин	132.48	258.59

Водный экстракт демонстрирует высокое содержание цистина (6837.45 мг/100 г) и триптофана (2639.54 мг/100 г), в то время как бутанольный экстракт содержит гистидин (2534.57 мг/100 г) и аспарагиновую кислоту (1221.31 мг/100 г). Валин и изолейцин не

обнаружены в водном экстракте, тогда как аланин, цистин и лейцин не выявлены в бутанольном экстракте. Это может свидетельствовать о низкой растворимости данных аминокислот в указанных растворителях, что подчеркивает важность правильного выбора экстрагента для эффективного извлечения аминокислот.

4. Заключение

1. Впервые начаты исследования химического состава семян *Canavalia ensiformis* (L.) DC заготовленные в г. Карачи (Пакистан), определена доброкачественность.

2. В результате анализа гексанового экстракта семян *Canavalia ensiformis* методом ГХ-МС обнаружены 13 соединений, с высоким содержанием лупеола (42.04%).

3. Впервые изучен жирнокислотный состав гексанового экстракта, в результате идентифицировано 33 соединения.

4. Проведен сравнительный анализ аминокислот бутанольного и водного экстрактов. В результате обнаружены 17 аминокислот, с преобладанием глутаминовой кислоты в водном 2049.82 мг/100 г и 2464.91 мг/100 г в бутанольном экстракте.

Финансирование: Данное исследование финансировано Министерством образования и науки Республики Казахстан (докторантская стипендия Жұлдыз Уванискановой).

Благодарности: Ж.У. выражает благодарность Научно-исследовательский институт химии Н.Е.Д. и Центр молекулярной медицины и исследований лекарственных средств имени доктора Панджвани при Университете Карачи (г. Карачи, Пакистан), за предоставленные условия для проведения её исследований.

Конфликт интересов: Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СЕМСЕР ТӘРІЗДІ КАНАВИЛИЯ ТҰҚЫМДАРЫНЫҢ (*CANAVALIA ENSIFORMIS* (L.) DC) АМИН ЖӘНЕ МАЙ ҚЫШҚЫЛЫ ҚҰРАМЫ

Ж.Н. Уванисканова^{1*}, *Г.А. Сейтимова*¹, *Г.Ш. Бурашева*¹, *М.И. Чаудхари*²

¹Әль-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Химия және химиялық технологиялық факультеті, Алматы, Қазақстан

²Химия және биология ғылыми-зерттеу институты, доктор Пэнджвани дәрілік заттар мен препараттарды молекулалық зерттеу орталығы, Карачи университеті, Карачи, Пакистан

*E-mail: zhuldyz.uvaniskanova@gmail.com

Түйіндеме: *Kіріспе.* Бұл зерттеу әртүрлі талдау әдістерін қолдана отырып, *Canavalia ensiformis* (L.) DC. тұқымдарының амин және май қышқылдарының құрамын зерттеуге бағытталған. Зерттеу нәтижелері фармацевтикада қолдану мүмкіндігі бар биологиялық белсенді композицияны жасауға негіз болады. *Зерттеу мақсаты.* *Canavalia ensiformis* тұқымдарының амин және май қышқылының құрамын бағалау. *Зерттеу әдістері.* Тұқымның шынайлығы ҚР МФ талаптарына сәйкес жүргізілді. *Canavalia ensiformis* тұқымдары экстрактланды, оны еріткіштердің полярлығының жоғарылауымен фракциялау жүргізілді. Амин және май қышқылдарының құрамы ЖЭСХ және ГХ-МС хроматографиялық әдістерді қолдану арқылы талданады. *Нәтижелер мен талқылаулар.* Оңтайлы еріткіш түрі таңдалды. Май қышқылының құрамы метилдеу әдісімен зерттелді. Сонымен қатар, бутанол мен су сығындыларының аминқышқылдарына салыстырмалы талдау жасалды. *Қорытынды.* Алынған нәтижелер *Canavalia ensiformis* тұқымдарының құрамын

неғұрлым толық зерттеуге ықпал етеді және оның биологиялық белсенді композицияларды әзірлеуде қолданылуын болжауға мүмкіндік береді. Зерттеу жұмысының фармацевтика саласындағы маңыздылығы, емдік белсенділігі бар өсімдік негізіндегі препараттарды жасаудың жаңа мүмкіндіктерін ашады.

Түйінді сөздер: *Canavalia ensiformis*, мацерация, ГХ-МС, май қышқылдары, амин қышқылдары.

Уванисканова Жұлдыз Наймангазықы	<i>Техника ғылымдарының магистрі</i>
Сейтимова Гульназ Абсаттаровна	<i>PhD, қауымдастырылған профессор</i>
Бурашева Гаухар Шахмановна	<i>Химия ғылымдарының докторы</i>
Мухаммад Икбал Чаудхари	<i>PhD, доктор, профессор</i>

Список литературы:

- Gordon M. Cragg, David J. Newman Natural products a continuing source of novel drug leads. *Biochim Biophys Acta.*, **2013**, 1830, 3670–3695. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2013.02.008>
- Божко С.Д., Ершова Т.А., Чернышова А.Н., Черногор А.М. Бобовые культуры - перспективное сырье для пищевой промышленности, *Жур. АПК*, № 2, **2020**, 59-64. DOI: <https://doi.org/10.24411/2311-6447-2020-10043>
- Abitogun A.S., Olasehinde E.F. Nutritional Evaluation of Seed and Characterization of Crude Jack Bean (*Canavalia ensiformis*) OIL. *Jour. of Applied Chemistry.*, **2012**, 1, 36-40. DOI: <http://dx.doi.org/10.9790/5736-0163640>
- Fiametta A. P., Vincenzo F., Norbert C.A. de Ruijter, Edoardo C. Chemical and microstructural characterization of easy- and hard-to-cook Jack bean (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.) collections. *LWT*, **2023**, 189, 115451. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115451>
- Carlini C.R., Ligabue-Braun R. Ureases as multifunctional toxic proteins: A review. *Toxicon*, **2016**, 110, 90-109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2015.11.020>
- Morris J.B. Sword bean (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.) genetic resources regenerated for potential medical, nutraceutical and agricultural traits. *Genetic Resou. and Crop.*, **2007**, 54, No.3, 585-592. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-006-0015-3>
- Bogoeva V. P., Petrova L. P., Trifonov A. A. New Activity of a Protein from *Canavalia ensiformis*. *Sci Pharm.*, **2014**, 82, 825–834. DOI: <https://doi.org/10.3797/scipharm.1404-09>
- Sá C.A., Vieira L.R., Pereira Almeida Filho L.C., Real-Guerra R., Lopes F.C., Souza T.M. et al. Risk assessment of the antifungal and insecticidal peptide Jaburetox and its parental protein the Jack bean (*Canavalia ensiformis*) urease. *Food Chem Toxic.*, **2020**, 136, 10977. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110977>
- Sridhar K.R., Seena S. Nutritional and antinutritional significance of four unconventional legumes of the genus *Canavalia* – A comparative study. *Food Chem.*, **2006**, 99, No.2, 267-288. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.049>
- Fiametta A.P., Christien W., Keumwoo L., Vincenzo F., Edoardo C. Proximate composition, microstructure, and protein and starch digestibility of seven collections of Jack bean (*Canavalia ensiformis*) with different optimal cooking times. *Food Research Inter.*, **2023**, 170, 112956. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112956>
- МВИ.МН 1363-2000. Метод по определению аминокислот в продуктах питания с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии. Минск. **2000**. 22 с.
- Государственная Фармакопея РК. Алматы, **2008**. 1, 591.
- Jun S.P., Inayat U.R., Kyonghwan C., Riaz A., Hyeon J.L., Myeong O.K. A Triterpenoid Lupeol as an Antioxidant and Anti-Neuroinflammatory Agent: Impacts on Oxidative Stress in Alzheimer's Disease, *Nutrients* **2023**, 15, 3059. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15133059>
- Akhilraj B.C., Suresh J., Rajamani K., Kumar M., Gnanam R. GC-MS Investigation of Unidentified Pharmaceutical ability of Indigenous herbaceous vine, *Tinospora cordifolia*'s fruits, *Research J. Pharm. and Tech.*, **2024**; 17(2), 612-618. DOI: <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2024.00095>

15. Kanetro B., Muhamad R., Dwiayati P., Nurul H., *Curr. Res. Nutr Food Sci Jour.*, **2021**, 9(3), 812-822. DOI: <http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.9.3.09>

16. Yarlina, V.P., Djali, M. Andoyo, R. Lani, M.N. Rifqi, M. Effect of Soaking and Proteolytic Microorganisms Growth on the Protein and Amino Acid Content of Jack Bean Tempeh (*Canavalia ensiformis*), *Processes*, **2023**, 11, 1161. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11041161>

References

1. Gordon M. Cragg, David J. Newman Natural products a continuing source of novel drug leads. *Biochim Biophys Acta.*, **2013**, 1830, 3670–3695. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2013.02.008>

2. Bozhko S.D., Ershova T.A., Chernyshova A.N., Chernogor A.M., Бобовые культуры - перспективное сырье для пищевой промышленности, *Jour. APK.*, **2020**, № 2, 59-64. DOI: <https://doi.org/10.24411/2311-6447-2020-10043>

3. Abitogun A.S., Olasehinde E.F. Nutritional Evaluation of Seed and Characterization of Crude Jack Bean (*Canavalia ensiformis*) OIL. *Jour. of Applied Chemistry.*, **2012**, 1, 36-40. DOI: <http://dx.doi.org/10.9790/5736-0163640>

4. Fiametta A.P., Vincenzo F., Norbert C.A. de Ruijter, Edoardo C. Chemical and microstructural characterization of easy- and hard-to-cook Jack bean (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.) collections. *LWT*, **2023**, 189, 115451. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115451>

5. Carlini C.R., Ligabue-Braun R. Ureases as multifunctional toxic proteins: A review. *Toxicon*, **2016**, 110, 90-109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2015.11.020>

6. Morris J.B. Sword bean (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.) genetic resources regenerated for potential medical, nutraceutical and agricultural traits. *Genetic Resou. and Crop*. **2007**, 54, No.3, 585-592. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-006-0015-3>

7. Bogoeva V. P., Petrova L. P., Trifonov A. A. New Activity of a Protein from *Canavalia ensiformis*. *Sci Pharm.*, **2014**, 82, 825–834. DOI: <https://doi.org/10.3797/scipharm.1404-09>

8. Sá C.A., Vieira L.R., Pereira Almeida Filho L.C., Real-Guerra R., Lopes F.C., Souza T.M. et al. Risk assessment of the antifungal and insecticidal peptide Jaburetox and its parental protein the Jack bean (*Canavalia ensiformis*) urease. *Food Chem Toxic.*, **2020**, 136, 10977. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110977>

9. Sridhar K.R., Seena S. Nutritional and antinutritional significance of four unconventional legumes of the genus *Canavalia* – A comparative study. *Food Chem.*, **2006**, 99, No.2, 267-288. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.049>

10. Fiametta A.P., Christien W., Keumwoo L., Vincenzo F., Edoardo C. Proximate composition, microstructure, and protein and starch digestibility of seven collections of Jack bean (*Canavalia ensiformis*) with different optimal cooking times. *Food Research Inter.*, **2023**, 170, 112956. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112956>

11. MM 1363-2000. A method for determining amino acids in food products using high performance liquid chromatography. Minsk. **2000**. P. 22.

12. The State Pharmacopoeia of the Republic of Kazakhstan. Almaty, **2008**, 1, 591. (In Russian).

13. Jun S.P., Inayat U.R., Kyonghwan C., Riaz A., Hyeon J.L., Myeong O.K. A Triterpenoid Lupeol as an Antioxidant and Anti-Neuroinflammatory Agent: Impacts on Oxidative Stress in Alzheimer's Disease, *Nutrients.*, **2023**, 15, 3059. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu1513059>

14. Akhilraj B.C., Suresh J., Rajamani K., Kumar M., Gnanam R. GC-MS Investigation of Unidentified Pharmaceutical ability of Indigenous herbaceous vine, *Tinospora cordifolia*'s fruits, *Research J. Pharm. and Tech.*, **2024**, 17(2), 612-618. DOI: <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2024.00095>

15. Kanetro B., Muhamad R., Dwiayati P., Nurul H., *Curr. Res. Nutr Food Sci Jour.*, **2021**, 9(3), 812-822. DOI: <http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.9.3.09>

16. Yarlina, V.P., Djali, M. Andoyo, R. Lani, M.N. Rifqi, M. Effect of Soaking and Proteolytic Microorganisms Growth on the Protein and Amino Acid Content of Jack Bean Tempeh (*Canavalia ensiformis*), *Processes*, **2023**, 11, 1161. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11041161>

INTERPHASE PROCESSES IN MODIFIED BITUMEN SYSTEMS

A.I. Degert, A.N. Dyuryagina, Y.S. Byzova, G.B. Aubakirova, A.A. Lutsenko*

M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan

**E-mail: yuliyabyzovva@gmail.com*

Abstract: *Introduction.* The unsatisfactory quality of asphalt concrete road surfaces in most cases is due to poor adhesion between the bitumen binder and the surface of the mineral filler. *The aim* is to establish the influence of modifiers of various natures on the development of interphase processes in modified bitumen compositions. *The methodology of the work* included measuring the contact angle of the crushed stone surface with modified bitumen systems depending on the quantitative content of additives in bitumen and evaluating the adhesive effectiveness of modifiers. *Results and discussion.* As follows from the analysis of the data obtained, the introduction of AC-2 into bitumen favours the wetting of the crushed stone surface, which, as a result, is confirmed by a decrease in the contact angle. The values θ of solutions of bitumen with AC-2 decreased by 6.73° as its concentration increased from 0 to 3.0 g/dm^3 . The results of measurements of the wetting edge angle in the binary bitumen-AG-4I system indicate that the polymer additive also stimulates the process of wetting crushed stone with bitumen, but less intensively. The maximum decrease in θ was 3.26° at $C_{AG-4I} = 1.5 \text{ g/dm}^3$. *Conclusion.* With an increased content of AC-2 ($C_{AC-2} = 1.0 \text{ g/dm}^3$), cohesion and adhesion increase and reach their maximum at $C_{AC-2} = 2.5 \text{ g/dm}^3$: $W_K = 89.68 \text{ mN/m}$, $W_A = 13.90 \text{ mN/m}$, $A = 68.55\%$. In the presence of a sealing liquid in bitumen, the adhesive-cohesive effect has a maximum at the same concentration point ($C_{AG-4I} = 2.5 \text{ g/dm}^3$) and is: $W_K = 90.20 \text{ mN/m}$, $W_A = 10.79 \text{ mN/m}$, $A = 92.25\%$.

Keywords: bitumen modification, polymer, surfactants, surface tension, wetting, adhesion, cohesion.

Degert Alyona Ivanovna

PhD student; Email: helena.dgri@bk.ru,

Dyuryagina Antonina Nikolaevna

Candidate of Chemical Sciences, Professor, Head of department of Chemistry and Chemical Technologies; E-mail: adyuryagina@inbox.ru

Byzova Yuliya Sergeevna

PhD, Senior Lecturer; Email: yuliyabyzovva@gmail.com

Aubakirova Gulsim Bagramovna

Candidate of Chemical Sciences, Honored Professor; E-mail: aubakirova.60@mail.ru

Lutsenko Aida Alexandrovna

PhD, Associate Professor; E-mail: 1-a.13@mail.ru

Citation: Degert A.I., Dyuryagina A.N., Byzova Y.S., Aubakirova G.B., Lutsenko A.A. Interphase processes in modified bitumen systems. *Chem. J. Kaz.*, **2024**, 4(88), 113-122. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.54>

МЕЖФАЗНЫЕ ПРОЦЕССЫ В МОДИФИЦИРОВАННЫХ БИТУМНЫХ СИСТЕМАХ

Дегерт А.И., Дюрягина А.Н., Бызова Ю.С.*, Аубакирова Г.Б., Луценко А.А.

НАО «Северо-Казахстанский Университет им. М.Козыбаева», Петропавловск, Казахстан
*E-mail: yuliyabyzova@gmail.com

Резюме. *Введение.* Неудовлетворительное качество асфальтобетонных дорожных покрытий в большинстве случаев обусловлено неудовлетворительной адгезией между битумным вяжущим и поверхностью минерального наполнителя. Эффективным способом повышения адгезионно-когезионной прочности битумо-минеральных композитов является модифицирование вяжущего различными аддитивами. *Цель* – установление влияния модификаторов различной природы на развитие межфазных процессов в модифицированных битумных композициях. *Методология работы* включала измерение краевого угла смачивания поверхности щебня модифицированными битумными системами в зависимости от количественных содержаний аддитивов в битуме и оценку адгезионной эффективности модификаторов методом отслаивания битума от поверхности щебня. *Результаты и обсуждение.* Как следует из анализа полученных данных, введение АС-2 в битум благоприятствует смачиванию поверхности щебня, что, как следствие, подтверждается уменьшением краевого угла смачивания. Значения θ растворов битума с АС-2 уменьшались на $6,73^\circ$ по мере увеличения его концентрации от 0 до $3,0 \text{ г/дм}^3$. Результаты измерений краевого угла смачивания в бинарной системе «битум-АГ-4И» свидетельствуют, что полимерный аддитив также стимулирует процесс смачивания щебня битумом, но менее интенсивно. Максимальное снижение θ составило $3,26^\circ$ при $C_{\text{АГ-4И}}=1,5 \text{ г/дм}^3$, что практически в 2 раза меньше в сравнении со смачивающим эффектом АС-2. *Заключение.* При повышенном содержании АС-2 ($C_{\text{АС-2}} > 1,0 \text{ г/дм}^3$) когезия и адгезия усиливаются и достигают своего максимума при $C_{\text{АС-2}}=2,5 \text{ г/дм}^3$: $W_K=89,68 \text{ мН/м}$, $W_A=13,90 \text{ мН/м}$, $A=68,55\%$. В присутствии герметизирующей жидкости в битуме адгезионно-когезионный эффект имеет максимум в той же концентрационной точке ($C_{\text{АГ-4И}}=2,5 \text{ г/дм}^3$) и составляет: $W_K=90,20 \text{ мН/м}$, $W_A=10,79 \text{ мН/м}$, $A=92,25\%$.

Ключевые слова: модифицирование битума, полимер, поверхностно-активные вещества, поверхностное натяжение, смачивание, адгезия, когезия.

<i>Дегерт Алена Ивановна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Дюрягина Антонина Николаевна</i>	<i>Кандидат химических наук, профессор</i>
<i>Бызова Юлия Сергеевна</i>	<i>PhD, старший преподаватель</i>
<i>Аубакирова Гульсим Баграмовна</i>	<i>Кандидат химических наук, заслуженный профессор</i>
<i>Луценко Аида Александровна</i>	<i>PhD, доцент</i>

1. Введение

Как известно, основными компонентами асфальтобетона являются битум и минеральный материал [1-3]. Прочность сцепления (адгезия) между битумом и наполнителем непосредственно влияет на эксплуатационные характеристики и долговечность формируемого асфальтобетонного дорожного покрытия [4-5]. Неудовлетворительная адгезия способствует отслоению битума от поверхности щебня в присутствии влаги, что приводит к преждевременному разрушению дорожного полотна [6-8], поэтому для получения высококачественных дорожных покрытий ключевым фактором является обеспечение высокой адгезии между битумом и минеральной составляющей дорожного покрытия [8-10].

Немаловажную роль играет также когезионное взаимодействие в объемной фазе битумного битума, характеризующее сопротивление сдвигу слоев вяжущего на молекулярном уровне [11-12]. Когезия, как и адгезия, является фундаментальным показателем, дающим представление о механическом поведении битума при положительных температурах [11, 13-14]. Показатели адгезии и когезии битума позволяют прогнозировать деформационные и прочностные характеристики формируемого асфальтобетона [15-16]. Эффективным способом повышения адгезионно-когезионной прочности битумо-минеральных композитов является модифицирование вяжущего различными аддитивами [7, 13].

Целью настоящего исследования являлось установление влияния модификаторов различной природы на развитие межфазных процессов в модифицированных битумных композициях. Это потребовало исследования процессов смачивания минерального наполнителя в зависимости от количественных содержаний аддитива в битуме; а также изучения закономерностей влияния модификаторов на термодинамическую работу адгезии и адгезионную эффективность модификаторов в составе битумного вяжущего.

2. Экспериментальная часть

2.1 Материалы

1. Окисленный битум с пенетрацией 100/130.

2. Модифицирующие аддитивы:

- АС-2 – продукт взаимодействия кубовых остатков нефтехимии КОН-92 (ТУ 38.302-75-03-92) с карбамидом в присутствии активирующей добавки – уксусной кислоты, что позволяет обеспечить количественное аминирование высших альдегидов и исключить применение газообразного аммиака [17];

- АГ-4И – отработанная герметизирующая жидкость, продукт на основе высокомолекулярного полиизобутилена и нефтяных масел.

2.2 Приготовление модифицированных битумных композиций

Эффект модифицирования устанавливали при постоянной температуре (130°C), варьируя в битуме количественное содержание аддитивов ($C_m=0\div 3.00$ г/дм³). Методика приготовления композиций заданного состава аналогична описанной ранее [18].

2.3 Измерение краевого угла смачивания

Измерение θ осуществляли с использованием автоматической системы измерений динамического угла смачивания и свободной поверхностной энергии серии АСАМ. Методика измерения краевого угла смачивания подробно представлена в работе [19].

2.4 Оценка адгезионных эффективности модификатора

Определение равновесной термодинамической работы адгезии W_a осуществляли на основании объединенного уравнения Дюпре-Юнга (1):

$$W_a = \sigma_{ж-г}(1 + \cos\theta), \quad (1)$$

где $\sigma_{ж-г}$ – поверхностное натяжение битумного вяжущего на межфазной границе с воздухом;

θ – равновесный краевой угол смачивания поверхности минерального наполнителя битумом.

Термодинамическую работу когезии W_k рассчитывали по уравнению (2):

$$W_k = 2\sigma_{ж-г} \quad (2)$$

2.4.2 Определение показателя адгезионной эффективности битума методом отслаивания

Минеральный наполнитель промывали дистиллированной водой и высушивали при 100 °С в сушильном шкафу, фиксировали массу и вводили щебень в разогретый битум. Смесь перемешивали до полного покрытия поверхности минерального наполнителя битумом. После полного покрытия щебень охлаждали до комнатной температуры, затем образцы выдерживали в кипящей воде в течение 30 мин. По массе отслоившегося битума от поверхности щебня после кипячения рассчитывали показатель адгезии и адгезионную эффективность модификаторов.

Расчет показателя адгезии битума X (% мас.) производили по формуле (3):

$$X = \frac{m_1 - m}{m_2} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где m_1 – масса битумо-минеральной смеси после кипячения, г;

m – навеска минерального материала, г;

m_2 – навеска битума, г.

Адгезионную эффективность добавки A (%) рассчитывали по формуле (4):

$$A = \frac{X_i - X_o}{X_o} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где X_i – показатель адгезии битума, модифицированного добавкой (% мас.);

X_o – показатель адгезии исходного битума (% мас.).

3. Результаты и обсуждение

Влияние концентрации модификатора АС-2 на изменения, происходящие на межфазных границах битума с минеральным наполнителем и воздухом, представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Показатели физико-химических характеристик бинарной системы «битум-АС-2».

C_{AC-2} , г/дм ³	θ , °	$\cos\theta$	σ , мН/м	W_k , мН/м	W_a , мН/м
0	140.10	-0.77	40.50	81.00	9.43
0.5	137.59	-0.74	38.36	76.72	10.04
1.0	135.66	-0.72	36.24	72.48	10.32
1.5	134.32	-0.70	37.54	75.08	11.31
2.0	133.55	-0.69	40.18	80.36	12.50
2.5	133.37	-0.69	44.84	89.68	13.90
3.0	133.77	-0.69	44.10	88.20	13.67

Для обоснования процессов межфазных изменений в бинарной системе «битум-АС-2», отчасти представленных ранее [23], на основе сопоставления поверхностных натяжений растворов модифицированного битума ($\sigma_{ж-г}$) и краевого угла смачивания ими поверхности щебня (θ) можно констатировать следующее:

1. Введение АС-2 в битум благоприятствует смачиванию поверхности щебня, что, как следствие, подтверждается уменьшением краевого угла смачивания. Значения θ растворов битума с АС-2 уменьшались на $6,73^\circ$ по мере увеличения его концентрации от 0 до 3.0 г/дм³.

2. Убыль значений θ согласуется с уменьшением поверхностного натяжения в области концентраций АС-2 $C \leq 1.0$ г/дм³; вместе с тем, при содержании АС-2 свыше 1.0 г/дм³ отмечали разновекторность в изменении этих двух характеристик: стабилизацию краевого угла смачивания при одновременном повышении значений $\sigma_{ж-г}$.

Рассчитанные значения работы когезии (W_k) и адгезии (W_a), определяемые, с одной стороны изменением характеристик растворов, а с другой – их смачивающим эффектом в отношении твердофазных дисперсий щебня в зависимости от количественных содержаний АС-2 в исследуемой системе, представлены в таблице 1. Согласно полученным данным, повышение содержания АС-2 в битуме вплоть до 1.0 г/дм³ сопровождалось уменьшением сил межмолекулярного взаимодействия в объеме; убыль работы когезии в бинарной композиции «битум-АС-2» при увеличении концентрации аддитива от 0 до 1.0 г/дм³ составила 8.52 мН/м. В этом же

ряду изменение концентрации АС-2, судя по значениям равновесной работы адгезии, наблюдается незначительное повышение прочности закрепления битума на поверхности минерального наполнителя; значения работы адгезии при увеличении концентрации АС-2 от 0 до 1.0 г/дм³ увеличились от 9.43 до 10.32 мН/м. Более глубокое воздействие АС-2 на процессы когезии и адгезии происходит в диапазоне его повышенных концентраций ($C > 1.0$ г/дм³). На участке от 1.0 до 3.0 г/дм³ происходит усиление когезионных взаимодействий в объеме битумного вяжущего (от 72.48 до 88.20 мН/м), сопровождаемое одновременным повышением работы W_A , необходимой для разрыва единицы площади межфазного поверхностного слоя (от 10.32 до 13.67 мН/м).

Влияние концентрации модификатора АГ-4И на изменения, происходящие на межфазных границах битума с щебнем и воздухом представлено в таблице 2.

Таблица 2 - Показатели физико-химических характеристик бинарной системы «битум-АГ-4И».

$C_{АГ-4И}$, г/дм ³	θ , °	$\cos\theta$	σ , мН/м	W_k , мН/м	W_A , мН/м
0	140.10	-0.77	40.50	81.00	9.43
0.5	138.57	-0.75	38.42	76.84	9.61
1.0	137.35	-0.74	36.32	72.64	9.61
1.5	136.84	-0.74	34.24	68.48	9.63
2.0	137.03	-0.73	38.06	76.12	10.21
2.5	139.53	-0.76	45.10	90.20	10.79
3.0	137.93	-0.74	41.54	83.08	10.70

Результаты измерений краевого угла смачивания в бинарной системе «битум-АГ-4И» (таблица 2) свидетельствуют, что полимерный аддитив также стимулирует процесс смачивания щебня битумом, но менее интенсивно. Максимальное снижение θ составило 3.26° при $C_{АГ-4И}=1.5$ г/дм³, что практически в 2 раза меньше в сравнении со смачивающим эффектом АС-2. На том же концентрационном участке наблюдалась более значительная убыль работы когезии: при увеличении содержания АГ-4И от 0 до 1.5 г/дм³ значение W_k уменьшилось на 12.52 мН/м, при одновременном незначительном повышении прочности закрепления модифицированного битума на поверхности щебня ($\Delta W_A=0.20$ мН/м). Однако, дальнейшее повышение содержания модификатора (от 1.5 до 2.5 г/дм³) в бинарной системе «битум-АГ-4И» стимулировало усиление когезионных взаимодействий в объеме битумного вяжущего (от 81.00 до 90.20 мН/м), а

также увеличение равновесной термодинамической работы адгезии (от 9.63 до 10.79 мН/м), что соизмеримо с уровнем изменения адгезионно-когезионных взаимодействий в битуме под влиянием АС-2 (табл.1).

Адгезионно-когезионная эффективность модификаторов, помимо определения термодинамической равновесной адгезии (W_A), была подтверждена методом определения массы отслоившегося битумного вяжущего с поверхности щебня, после его кипячения в воде (таблица 3).

Таблица 3 - Адгезионная эффективность модификаторов в составе бинарных композиций по отношению к поверхности щебня.

C_{AC-2} , г/дм ³	X, %масс.	A, %	$C_{AG-4И}$, г/дм ³	X, %масс.	A, %
0	34.38	0	0	34.38	0
0.5	35.18	2.32	0.5	43.88	27.62
1.0	41.08	19.49	1.0	53.27	54.96
1.5	46.72	35.89	1.5	60.66	76.43
2.0	49.24	43.21	2.0	62.02	80.41
2.5	57.95	68.55	2.5	66.10	92.25
3.0	46.70	35.83	3.0	58.79	71.00

Результаты исследований, представленные в таблице 3, свидетельствуют, что в сравнении с немодифицированным битумом, в бинарной системе «битум-АС-2» максимальная адгезионная эффективность (68.55%) зафиксирована в той же концентрационной точке ($C_{AC-2}=2.5$ г/дм³), что и максимум термодинамической работы адгезии (13.90 мН/м, таблица 1). При таком же содержании АГ-4И в битуме ($C_{AG-4И}=2.5$ г/дм³) адгезионная эффективность по отношению к поверхности щебня оказалась выше и составила 92.25 %.

4. Заключение

1. Адгезионно-когезионные процессы в модифицированных битумных системах лимитируются эффектом смачивания минеральных наполнителей и интенсивностью межмолекулярных сил в конденсированной фазе.

2. При ограниченных содержаниях АС-2 ($C_{AC-2} \leq 1.0$ г/дм³) в битуме выявлена разновекторность в характере изменения когезионно-адгезионных взаимодействий: уменьшение работы когезии (от 81.00 до 72.48 мН/м) и увеличение работы адгезии (от 9.43 до 10.32 мН/м).

3. При повышенном содержании АС-2 ($C_{AC-2} > 1.0$ г/дм³) когезия и адгезия усиливаются и достигают своего максимума при $C_{AC-2}=2.5$ г/дм³: $W_K=89.68$ мН/м, $W_A=13.90$ мН/м, $A=68.55\%$.

4. В присутствии герметизирующей жидкости в битуме адгезионно-когезионный эффект имеет максимум в той же концентрационной точке ($C_{AG-4И}=2.5$ г/дм³) и составляет: $W_K=90.20$ мН/м, $W_A=10.79$ мН/м, $A=92.25\%$.

Финансирование: Научно-исследовательская работа осуществлена в рамках ГФ АР19677707 Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

МОДИФИКАЦИЯ ЛАНҒАН БИТУМ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ФАЗААРАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР

А.И. Дегерт, Ю.С. Бызова, А.Н. Дюрягина, Г.Б. Аубакирова, А.А. Луценко*

«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Петропавл, Қазақстан

*E-mail: yuliyabyzovva@gmail.com

Түйіндеме. *Кіріспе.* Асфальтбетонды жол жабындарының қанағаттанарлықсыз сапасы көп жағдайда битумды байланыстырғыш пен минералды толтырғыштың беті арасындағы қанағаттанарлықсыз адгезияға байланысты. Битумды минералды композиттердің адгезиялық-когезиялық беріктігін арттырудың тиімді әдісі тұтқыр затты әртүрлі аддитивтермен өзгерту болып табылады. *Мақсаты*-әртүрлі сипаттағы модификаторлардың модификацияланған битумдық композициялардағы фазааралық процестердің дамуына әсерін анықтау. *Жұмыс әдіснамасы* битумдағы аддитивтердің сандық мазмұнына байланысты өзгертілген битум жүйелерімен қиыршық тас бетін сулаудың шеткі бұрышын өлшеуді және битумды қиыршық тас бетінен бөліну әдісімен модификаторлардың адгезия тиімділігін бағалауды қамтыды. *Нәтижелер және талқылау.* Алынған деректерді талдаудан көрініп тұрғандай, АС-2-ні битумға енгізу қиыршық тас бетінің сулануына жағдай туғызады, нәтижесінде ылғалданудың шеткі бұрышының төмендеуімен расталады. АС-2 бар битум ерітінділерінің θ мәндері оның концентрациясы 0-ден 3.0 г/дм³-ке дейін жоғарылаған сайын 6,73°-қа азайды. "Битум-АГ-4И" бинарлы жүйесіндегі ылғалдандырудың шеткі бұрышын өлшеу нәтижелері полимерлі аддитив сонымен қатар қиыршық тасты битуммен сулау процесін ынталандыратынын, бірақ аз қарқынды екенін көрсетеді. θ максималды төмендеуі $C_{AG-4I}=1.5$ г/дм³ кезінде 3.26° болды, бұл АС-2 сулану әсерімен салыстырғанда шамамен 2 есе аз. *Қорытынды.* АС-2 ($C_{AC-2}>1.0$ г/дм³) жоғарылаған кезде когезия мен адгезия күшейіп, $C_{AC-2}=2.5$ г/дм³: $W_K=89.68$ мН/м, $W_A=13.90$ мН/м, $A=68.55\%$ кезінде максимумға жетеді. Битумда туғыздағыш сұйықтықтың қатысуымен адгезиялық-когезиялық әсері сол концентрация нүктесінде максимумға ие ($C_{AG-4I}=2.5$ г/дм³) және: $W_K=90.20$ мН/м, $W_A=10.79$ мН/м, $A=92.25\%$ құрайды.

Түйінді сөздер: битумды модификациялау, полимер, беттік белсенді заттар, беттік керілу, сулану, адгезия, когезия

<i>Дегерт Алена Ивановна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Дюрягина Антонина Николаевна</i>	<i>Химия ғылымдарының кандидаты, профессор</i>
<i>Бызова Юлия Сергеевна</i>	<i>PhD, аға оқытушы</i>
<i>Аубакирова Гульсим Баграмовна</i>	<i>Химия ғылымдарының кандидаты, еңбек сіңірген профессор</i>
<i>Луценко Аида Александровна</i>	<i>PhD докторы, доцент</i>

Список литературы:

1. White G. State of the art: asphalt for airport pavement surfacing. *Int. J. Pavement Res. Technol.*, **2018**, Vol. 11, 77-98. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.07.008>
2. Тюкилина П.М., Гуреев А.А., Тыщенко В.А. Производство нефтяных дорожных вяжущих. Москва, Недра, **2021**, 501 с.
3. Гуреев А. А. Нефтяные вяжущие материалы. Москва, Недра. **2018**, 239 с.
4. Lu Z., Chen A., Wu S., Li Y., Zou Y., Zhu Y., Wang K. Experimental Study on the Physicochemical Properties of Asphalt Modified by Different Anti-Stripping Agents and Their Moisture Susceptibility with Aggregates. *Materials.*, **2023**, Vol. 16, 4545. <https://doi.org/10.3390/ma16134545>

5. Guo M., Tan Y., Wang L., Hou Y. A state-of-the-art review on interfacial behavior between asphalt binder and mineral aggregate. *Front. Struct. Civ. Eng.*, **2018**, Vol. 12, 248-259. <https://doi.org/10.1007/s11709-017-0422-x>
6. Chomicz-Kowalska A., Gardziejczyk W., Iwanski M.M. Moisture resistance and compactibility of asphalt concrete produced in half-warm mix asphalt technology with foamed bitumen. *Constr. Build. Mater.*, **2016**, Vol. 126, 108-118. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.004>
7. Porto M., Caputo P., Loise V., Eskandarsefat S., Teltayev B., Rossi C.O. Bitumen and bitumen modification: A review on latest advances. *Appl. Sci.*, **2019**, Vol. 9, 742-1-742-35. <https://doi.org/10.3390/app9040742>
8. Golchin B., Meor O., Mohd R. Optimization in producing warm mix asphalt with polymer modified binder and surfactant-wax additive. *Constr. Build. Mater.*, **2017**, Vol. 141, 578-588. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.123>
9. Pasandin A. R., Perez I. The influence of the mineral filler on the adhesion between aggregates and bitumen. *Int. J. Adhes. Adhes.*, **2015**, Vol. 58, 53-58. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.01.005>
10. Jiang J., Ni F., Gu X., Yao L., Dong Q. Evaluation of aggregate packing based on thickness distribution of asphalt binder, mastic and mortar within asphalt mixtures using multiscale methods. *Constr. Build. Mater.*, **2019**, Vol. 222, 17-730. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.083>
11. Veytskin Y., Bobko C., Castorena C., Kim Y. R. Nanoindentation investigation of asphalt binder and mastic cohesion. *Constr. Build. Mater.*, **2015**, Vol. 100, 163-171. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.09.053> Get rights and content
12. Ma X., Chen H., Cao G. et al. Investigation of viscoelastoplastic behavior of asphalt mastic: Effects of shear strain rate and filler volume fraction. *Constr. Build. Mater.*, **2019**, Vol. 200, 559-569.
13. Kemalov A., Kemalov R., Abdrafikova I., Fakhretdinov P., Valiev D. Polyfunctional Modifiers for Bitumen and Bituminous Materials with High Performance. *Adv. Mater. Sci. Eng.*, **2018**, Vol. 10, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2018/7913527>
14. Guo M., Bhasin A., Tan Y. Effect of mineral fillers adsorption on rheological and chemical properties of asphalt binder. *Constr. Build. Mater.*, **2017**, Vol. 141, 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.051>
15. Cui S., Blackman B., Kinloch A.J., Taylor C.A. Durability of asphalt mixtures: Effect of aggregate type and adhesion promoters. *Int. J. Adhes. Adhes.*, **2014**, Vol. 54, 100-111. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2014.05.009>
16. Dyuryagina A., Byzova Y., Ostrovnoy K., Demyanenko A., Tyukanko V., Lutsenko A. The Effect of the Microstructure and Viscosity of Modified Bitumen on the Strength of Asphalt Concrete. *Polymers.*, **2024**, Vol. 16, 1370. <https://doi.org/10.3390/polym16101370>
17. Патент РК №10797 Способ получения ингибитора кислотной коррозии металлов. Болатбаев К.Н., Дюрягина А.Н., Нурушов А.К., Корьгина О.Г. **2004**. <https://kzpatents.com/0-pp14466-sposob-polucheniya-ingibitora-kislotnojj-korrozii-metallov.html>
18. Dyuryagina A.N., Degert A.I., Byzova Y.S., Lutsenko A.A., Shirina T.V., Ostrovnoy K.A. Investigation of surface properties of modified bitumen compositions. *Chem. J. Kaz.*, **2024**, 2 (86), 105-114. (In Russ.). <https://doi.org/10.51580/2024-2.2710-1185.26>
19. Dyuryagina A., Byzova Y., Ostrovnoy K., Demyanenko A., Lutsenko A., Shirina T. Increasing the Adhesion of Bitumen to the Surface of Mineral Fillers through Modification with a Recycled Polymer and Surfactant Obtained from Oil Refining Waste. *Polymers.*, **2024**, 16, 714. <https://doi.org/10.3390/polym16050714>

References

1. White G. State of the art: asphalt for airport pavement surfacing. *Int. J. Pavement Res. Technol.*, **2018**, Vol. 11, 77-98. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.07.008>
2. Tyukina P.M., Gureev A.A., Tyshchenko V.A. Production of petroleum road binders. Moscow, Nedra. **2021**, 501 p. (In Russ.).
3. Gureev A. A. Petroleum binders. Moscow, Nedra. **2018**, 239 p. (In Russ.).
4. Lu Z., Chen A., Wu S., Li Y., Zou Y., Zhu Y., Wang K. Experimental Study on the Physicochemical Properties of Asphalt Modified by Different Anti-Stripping Agents and Their Moisture Susceptibility with Aggregates. *Materials.*, **2023**, Vol. 16, 4545. <https://doi.org/10.3390/ma16134545>

5. Guo M., Tan Y., Wang L., Hou Y. A state-of-the-art review on interfacial behavior between asphalt binder and mineral aggregate. *Front. Struct. Civ. Eng.*, **2018**, Vol. 12, 248-259. <https://doi.org/10.1007/s11709-017-0422-x>
6. Chomicz-Kowalska A., Gardziejczyk W., Iwanski M.M. Moisture resistance and compactibility of asphalt concrete produced in half-warm mix asphalt technology with foamed bitumen. *Constr. Build. Mater.*, **2016**, Vol. 126, 108-118. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.004>
7. Porto M., Caputo P., Loise V., Eskandarsefat S., Teltayev B., Rossi C.O. Bitumen and bitumen modification: A review on latest advances. *Appl. Sci.*, **2019**, Vol. 9, 742-1-742-35. <https://doi.org/10.3390/app9040742>
8. Golchin B., Meor O., Mohd R. Optimization in producing warm mix asphalt with polymer modified binder and surfactant-wax additive. *Constr. Build. Mater.*, **2017**, Vol. 141, 578-588. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.123>
9. Pasandin A. R., Perez I. The influence of the mineral filler on the adhesion between aggregates and bitumen. *Int. J. Adhes. Adhes.*, **2015**, Vol. 58, 53-58. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.01.005>
10. Jiang J., Ni F., Gu X., Yao L., Dong Q. Evaluation of aggregate packing based on thickness distribution of asphalt binder, mastic and mortar within asphalt mixtures using multiscale methods. *Constr. Build. Mater.*, **2019**, Vol. 222, 17-730. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.083>
11. Veytskin Y., Bobko C., Castorena C., Kim Y. R. Nanoindentation investigation of asphalt binder and mastic cohesion. *Constr. Build. Mater.*, **2015**, Vol. 100, 163-171. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.09.053> Get rights and content
12. Ma X., Chen H., Cao G. et al. Investigation of viscoelastoplastic behavior of asphalt mastic: Effects of shear strain rate and filler volume fraction. *Constr. Build. Mater.*, **2019**, Vol. 200, 559-569.
13. Kemalov A., Kemalov R., Abdrafikova I., Fakhretdinov P., Valiev D. Polyfunctional Modifiers for Bitumen and Bituminous Materials with High Performance. *Adv. Mater. Sci. Eng.*, **2018**, Vol. 10, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2018/7913527>
14. Guo M., Bhasin A., Tan Y. Effect of mineral fillers adsorption on rheological and chemical properties of asphalt binder. *Constr. Build. Mater.*, **2017**, Vol. 141, 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.051>
15. Cui S., Blackman B., Kinloch A.J., Taylor C.A. Durability of asphalt mixtures: Effect of aggregate type and adhesion promoters. *Int. J. Adhes. Adhes.*, **2014**, Vol. 54, 100-111. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2014.05.009>
16. Dyuryagina A., Byzova Y., Ostrovnoy K., Demyanenko A., Tyukanko V., Lutsenko A. The Effect of the Microstructure and Viscosity of Modified Bitumen on the Strength of Asphalt Concrete. *Polymers.*, **2024**, Vol. 16, 1370. <https://doi.org/10.3390/polym16101370>
17. Patent of the Republic of Kazakhstan No. 10797 Method for obtaining an inhibitor of acid corrosion of metals. Bolatbaev K.N., Dyuryagina A.N., Nurushov A.K., Korytina O.G. **2004**. <https://kzpatents.com/0-pp14466-sposob-polucheniya-ingibitora-kislотноj-korrozii-metallov.html>
18. Dyuryagina A.N., Degert A.I., Byzova Y.S., Lutsenko A.A., Shirina T.V., Ostrovnoy K.A. Investigation of surface properties of modified bitumen compositions. *Chem. J. Kaz.*, **2024**, 2 (86), 105-114. (In Russ.). <https://doi.org/10.51580/2024-2.2710-1185.26>
19. Dyuryagina A., Byzova Y., Ostrovnoy K., Demyanenko A., Lutsenko A., Shirina T. Increasing the Adhesion of Bitumen to the Surface of Mineral Fillers through Modification with a Recycled Polymer and Surfactant Obtained from Oil Refining Waste. *Polymers.*, **2024**, 16, 714. <https://doi.org/10.3390/polym16050714>

CREATION OF FLAME RETARDANT COMPOSITIONS FOR POLYESTER AND COTTON-POLYESTER TEXTILE MATERIALS

K.Zh. Dyussenbiyeva *, *A. Burkitbay*

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

*E-mail: d.kulmairam@mail.ru

Abstract. *Introduction.* A significant disadvantage of materials and products of light industry is flammability. Analysis and statistics of fires show that the easy flammability of clothing materials and the high speed of flame spread lead to significant human casualties. In this regard, most countries of the world have adopted laws prohibiting the use of combustible materials in the production of workwear for work in conditions of high temperatures and splashes of molten metal, clothing for the elderly, bed linen in nursing homes, children's toys, as upholstery and finishing materials and for other purposes. Therefore, the problem of reducing the flammability of materials and products of light industry is relevant and of paramount importance.

The purpose. The article is devoted to the development of flame retardant technology for polyester and blends of cotton and polyester fabrics. An analysis of existing methods for imparting fire-retardant properties to textile materials and assessing their effectiveness is carried out.

Methodology. The following tissues were chosen as the object of study: polyester 100 % (surface density 180 g/m²), polyester 65 %/ cotton 35 % (surface density 180 g/m²), polyester 65 %/ cotton 35 % (surface density 250 g/m²), polyester 40 %/ cotton 60 % (surface density 230 g/m²). The following components are used for the preparation of the compositions: sodium hexametaphosphate 150-200 г/л, polyethylene glycol 40 г/л, urea 80 г/л. The fabric is impregnated with a finishing solution, added, dried and thermofixed.

Results and discussion. Effective flame-retardant compositions for textile materials have been developed. Optimal technological parameters for fire-retardant treatment of textile materials are determined. The effect of treatment on the combustion processes of fire-retardant textile materials has been studied. The effect of fire-retardant treatment on the physical and mechanical properties of finished materials is investigated.

Conclusion. Optimal concentrations were selected to give textile fabrics fire-retardant properties, as well as to improve their consumer properties. Treatment of the material with flame retardants does not worsen the consumer properties of the fabric. This technology is available and versatile to ensure fire resistance.

Key words: textile materials, blended fabrics, sodium hexametaphosphate, flame retardant, flame retardant coating, flame retardant efficiency, flammability, combustion, fire resistance of fabric materials, flame retardant properties, final finishing.

Dyussenbiyeva Kulmairam Zhamanbaevna Ph.D; E-mail: d.kulmairam@mail.ru

Burkitbay Asemgul Ph.D; E-mail: asemka76@mail.ru

Citation: Dyussenbiyeva K.Zh., Burkitbay A. Creation of flame retardant compositions for polyester and cotton-polyester textile materials. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 4(88), 123-131. DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.55>

1. Introduction

Textile materials are flammable, burn quickly, having a significant area of flame coverage, emit toxic combustion products during combustion and for the most part have a high smoke-forming ability. In this regard, at present, a significant number of scientific studies are devoted to the problem of developing flame retardants and technology for their application, which make it possible to reduce flammability, smoke formation and toxicity of combustion products, as well as to studying the process of thermal oxidation of fiber-forming polymers. Most of the fibers and textile materials produced are flammable and combustible. During a fire, fabrics easily catch fire and quickly spread flames. Textile fires are the cause of a large number of fires in residential and public buildings. Therefore, the problem of imparting fire-retardant properties to textile materials of various nature and purposes has become increasingly relevant in recent years [1,2,3].

Currently, a wide range of fire retardants are produced to reduce the fire hazard of textile materials. Flame retardants differ in structure (inorganic and organic) and in the method of application or finishing [4,5,6].

Recently, for effective methods of fire-retardant modification of textile materials, impregnation and plus methods have also been used using additional special effects on the surface and structure of fibers in order to form active centers that ensure the chemical interaction of the inoculant with the fiber polymer. These may include the use of energetically powerful physical fields: electrophysical treatment in a corona glow discharge in air or other gaseous medium, high-frequency plasma treatment, photochemical treatment, radiation treatment. Each of these methods has its advantages and disadvantages, and in each specific case, certain requirements are imposed on fire retardants.

An analysis of the literature over the past decade has shown that various methods are used to create fire-retardant textile materials. These include the use of high-temperature fibre-forming organic polymers and inorganic fibres, various types of effective flame retardants that are used as additive additives in spinning solutions or polymer melts in fibre formation, and for the treatment of fibres and fabrics to form chemical bonds between the flame retardants and the fibre-forming polymer macromolecule [7,8,9].

Flame retardants, which have received practical application for imparting flame retardant properties to fabrics, can be divided into the following main groups:

- inorganic salts that are difficult to wash off from the surface of the fabric;
- halogenated hydrocarbons in combination with antimony or titanium oxide;
- flame retardants based on phosphoric acid and nitrogen-containing compounds;
- polymers formed on the surface of the fabric as a result of heat treatment.

Early fire impregnation of fabrics with a fire retardant composition will allow you to localize the source of a possible fire at the initial stages. But there are often cases when it is unprotected fabrics that are the main conductor of flame in internal spaces. The main objective of the study is to develop a composition for

flame retardant treatment of fabrics made of mixed fibers (cotton/polyester) of twill weave, providing flame retardant properties, permanence and preservation of the neck of the fabric after its processing [10,11,12].

2. Experimental part

The composition and structure of textile material are the main parameters affecting its fire properties, since the process of thermal destruction is different for different types of fiber-forming polymers. The choice of effective compositions and methods of their application is determined by the nature of the interaction of the flame retarder system - polymer. At the same time, an important practical issue is to study the possibility of developing a flame retardant impregnating composition for fabric that does not have a negative effect on human skin.

For the fire retardant composition, the following components are used: sodium hexametaphosphate 150-200 g/l, polyethylene glycol 40 g/l, urea 80 g/l. The fabric is impregnated with a finishing solution, added, dried and thermofixed. The following tissues were chosen as the object of study: polyester 100 % (surface density 180 g/m²), polyester 65 %/ cotton 35 % (surface density 180 g/m²), polyester 65 %/ cotton 35 % (surface density 250 g/m²), polyester 40 %/ cotton 60 % (surface density 230 g/m²). The assessment of the effectiveness of fire retardants for textile materials was carried out in accordance with GOST R 50810-95 [13]. Determination of the tensile properties of cotton fabrics was carried out in accordance with GOST 3813-72 [14]. The study of the stiffness of textile materials was carried out in accordance with GOST 10550-93 [15]. Determination of fabric resistance to surface wetting was carried out in accordance with GOST 30292-96 [16], MT 032 device.

3. Results and discussion

Currently, a wide range of fire retardants are produced to reduce the fire hazard of textile materials. Flame retardants differ in structure (inorganic and organic) and in the method of application or finishing. Reducing the fire hazard of fabric materials is the main task that needs to be solved by both manufacturers of textile materials and specialists conducting scientific research in the field of fire safety of facilities.

Treatment of textile materials with fire retardants reduces the fire hazard of fibers, yarns, fabrics, nonwovens and products made of them, as well as carpet textile coverings. It is necessary to use textile materials treated with a fire retardant in buildings and premises intended for cultural events - in theaters and sports and entertainment complexes, museums, recreation areas, as well as residential premises. As a result of treatment with effective means of fire protection, the possibility of ignition of textile materials from low-calorie ignition sources is excluded, the ability of flame to spread over the surface is reduced, the smoke-forming ability and toxicity of thermal decomposition products are reduced.

According to table 1 and figure 1, the best indicators of fire protection efficiency for textile materials are: polyester 65 %/ cotton 35 % (180 and 250 g/m²), flame exposure time is 15 seconds, for polyester 100% flame exposure time is 4 s. For the composition of polyester 40% / cotton 60%, the flame exposure time is 20 seconds, at an average concentration of 175 g/l. This is due to the highest content of cotton in the composition of the fabric.

Table 1 - Performance indicators of flame retardants for polyester and cotton. and polyester fabric blends

№	textile materials	concentration of components, g/l				
		polyethylene glycol	urea	sodium hexametaphosphate	flame exposure time, seconds	
					raw materials	processed materials
1	polyester 100 %, 180 g/m ²	40	80	200	1	4
2	polyester 65 %/ cotton 35 %, 180 g/m ²			200	2	15
3	polyester 65 %/ cotton 35 %, 250 g/m ²			200	2	15
4	polyester 40 %/ cotton 60 %, 230 g/m ²			175	2	20

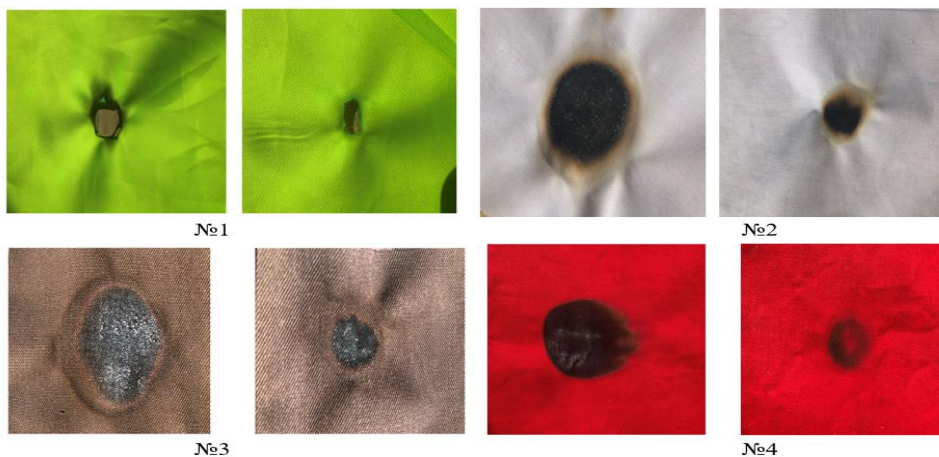


Figure 1 - Destruction of textile material impregnated with flame retardants under the influence of open fire

Samples of textile materials measuring 20 cm by 20 cm were subjected to a fire test. Samples without impregnation caught fire instantly when immersed in an open flame. And after the flame was removed, they continued to burn and burned completely to the ground. The sample is 100% polyester, burned completely in 3 minutes, the rest in 5-6 minutes. Based on this experiment, it can be said that samples without impregnation are flammable and do not have fire resistance, the complete combustion time was 1-3 minutes.

Treatment of the material with flame retardants should not worsen other consumer properties of the fabric - affect its neck and significantly weigh down the products. The final finish requires special study of the following properties: fire retardant properties, structural rigidity, breaking load, water repellency and other properties. In this regard, the fire-retardant and physical-mechanical properties of the developed fire-retardant textile materials have been investigated. To determine the tensile characteristics, the RT-250M GOST 3813-72 tensile machine was used. The results are presented in table 2.

Table 2 - Indicators of the absolute breaking load of modified samples, kgs

№	breaking load, kgs							
	sodium hexametaphosphate, 150 g/l		sodium hexametaphosphate, 75 g/l		sodium hexametaphosphate, 00 g/l		raw materials	
	base	weft	base	weft	base	weft	base	weft
1	F=58.3 L=68.3	F=63.6 L=54.2	F=62.2 L=71.3	F=56.6 L=44.2	F=68.7 L=79.2	F=73.1 L=63.4	F=38.0 L=58.6	F=41.1 L=69.2
2	F=40.6 L=60.8	F=73.6 L=34.2	F=38.6 L=68.2	F=70.3 L=48.3	F=48.0 L=71.8	F=68.6 L=44.2	F=32.5 L=41.6	F=53.2 L=39.3
3	F=48.0 L=54.3	F=60.7 L=39.7	F=38.3 L=46.1	F=68.3 L=48.9	F=42.6 L=58.3	F=62.3 L=41.2	F=47.0 L=59.1	F=54.8 L=32.2
4	F=38.7 L=29.5	F=35.8 L=31.9	F=35.5 L=35.6	F=39.7 L=42.3	F=43.3 L=55.1	F=46.9 L=34.5	F=38.1 L=32.4	F=39.6 L=28.9

The stiffness of textile materials is influenced by their fibrous composition, structure, properties of fibers and yarns, as well as the structure and finish of the material itself. The more straightened and oriented the chain molecules of the fiber-forming polymer, the greater the internal friction limiting the movement of molecular chains, the less flexibility of fibers. Finishing operations, especially finishing, significantly affect the stiffness of fabrics. The stiffness of fabrics also depends on atmospheric conditions. Under the influence of temperature and humidity, the stiffness of tissues changes, and in less dense fabrics these changes are associated with the properties of the fibers, in denser fabrics with the structure of the fabric itself.

Stiffness is one of the main characteristics used to assess the recyclability of textile materials, as it determines the behavior of the material and products during further processing and operation. The stiffness does not increase significantly in modified samples $G=1,601$, in untreated samples $G=1,288$, table 3.

Table 3 - Hardness indicators of processed samples according to the proposed technologies

№	concentration of components, g/l polyethylene glycol 40 g/l, urea 80 g/l.	sodium hexametaphosphate, g/l.							
		150		175		200		raw materials	
		stiffness, G, sN	resilience, %	stiffness, G, sN	resilience, %	stiffness, G, sN	resilience, %	stiffness, G, sN	resilience, %
1	polyester 100 %, 180 g/m ²	3.109	74.7	3.806	78.6	4.307	83.3	2.205	79.2
2	polyester 65 %/ cotton 35 %, g/m ²	1.601	59.2	1.986	61.6	2.208	70.2	1.288	55.8
3	polyester 65 %/ cotton 35 %, 250 g/m ²	1.989	69.8	2.109	71.9	2.675	62.2	1.901	66.5
4	polyester 40 %/ cotton 60 %, 230 g/m ²	1.765	55.6	2.348	74.7	2.695	72.6	1.955	60.2

A characteristic feature of materials used in light industry is their fibrous capillary-porous structure. In the process of operation of products, the surface layers of materials are primarily exposed to external mechanical, thermal, chemical influences, and the durability of products depends on their strength and resistance. Determination of the resistance of the fabric to surface wetting was carried out in accordance with GOST 30292, device MT 032. The degree of water repellency is estimated in conventional units depending on the condition of the wet surface of the sample, the results are in table 4.

Table 4 - Degree of water repellency of polyester and blends of cotton and polyester fabrics

№	sample state, conventional units							
	raw materials				processed materials			
1								
2	polyester 100 %, 180 g/m ²	polyester 65 %/ cotton 35 %, 180 g/m ²	polyester 65 %/ cotton 35 %, 250 g/m ²	polyester 40 %/ cotton 60 %, 230 g/m ²	polyester 100 %, 180 g/m ²	polyester 65 %/ cotton 35 %, 180 g/m ²	polyester 65 %/ cotton 35 %, 250 g/m ²	polyester 40 %/ cotton 60 %, 230 g/m ²
3	100	50	60	50	100	60	80	70

According to the results obtained, the hydrophobic treatment of the textile material with the developed composition reduces moisture absorption. After

hydrophobization, the fabric remains breathable, maintaining its basic hygienic properties.

4. Conclusion

Effective flame retardant formulations have been developed for polyester fabrics and cotton and polyester fabric blends. For fire resistance, this technology is versatile, affordable and easy to implement. Processing of mixed materials using this technology will make it possible to obtain materials with a high degree of fire resistance, the time of flame exposure in untreated samples is 1-2 seconds, the best fire resistance indicators were 60% polyester for samples with a content of 40 % cotton. Based on these results, it can be said that samples without impregnation are flammable and do not have fire resistance. In samples with fire-retardant impregnation, fire resistance increased by 2 times. As a result of the tests, the optimal composition and concentration of the chemicals used, the optimal temperature and drying time were determined. The resulting textile materials have the best performance in all parameters of physical and mechanical properties.

Acknowledgment: The work was carried out at the Almaty technological university.

Conflict of interests: The authors declare that there are no conflicts of interests between the authors to disclose in this article.

СОЗДАНИЕ ОГНЕСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ПОЛИЭФИРНЫХ И ХЛОПКОПОЛИЭФИРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

К.Ж. Дюсенбиева, Буркитбай А.*

Алматинский Технологический Университет, Алматы, Казахстан

**E-mail: d.kulmairam@mail.ru*

Резюме: *Введение.* Существенным недостатком материалов и изделий легкой промышленности является горючесть. Анализ и статистика пожаров показывают, что легкая воспламеняемость материалов одежды и высокая скорость распространения пламени приводят к значительным человеческим жертвам. В связи с этим, в большинстве стран мира приняты законы, запрещающие применение горючих материалов в производстве спецодежды для работы в условиях повышенных температур и брызг расплава металла, одежды для пожилых людей, постельного белья в домах престарелых, детских игрушек, в качестве обивочных и отделочных материалов и других целей. Поэтому проблема снижения горючести материалов и изделий легкой промышленности является актуальной и имеет первостепенное значение. *Цель.* Статья посвящена разработке огнезащитной технологии для полиэфирных и смесей хлопковых и полиэфирных тканей. Проведен анализ существующих способов придания огнезащитных свойств текстильным материалам и оценки их эффективности. *Методология.* В качестве объекта исследования выбраны ткани следующего состава: полиэфир 100 % (поверхностная плотность 180 г/м²), полиэфир 65 %/ хлопок 35 % (поверхностная плотность 180 г/м²), полиэфир 65 %/ хлопок 35 % (поверхностная плотность 250 г/м²), полиэфир 40 %/ хлопок 60 % (поверхностная плотность 230 г/м²). Для приготовления составов применены следующие составляющие: гексаметафосфат натрия 150-200 г/л, полиэтиленгликоль 40 г/л, мочевины 80 г/л. Ткань пропитывают аппретирующим раствором, плюсоют, сушат и термофиксируют. *Результаты и обсуждение.* Разработаны эффективные огнестойкие составы для текстильных материалов. Определены оптимальные технологические параметры для огнезащитной обработки текстильных материалов. Изучено влияние обработки на

процессы горения огнезащитных текстильных материалов. Исследовано воздействие огнезащитной обработки на физико-механические свойства аппретированных материалов.

Заключение. Подобраны оптимальные концентрации для придания текстильным полотнам огнезащитных свойств, а также для улучшения их потребительских свойств. Обработка материалов огнезащитными составами не ухудшает эксплуатационные свойства ткани. Данная технология доступна и универсальна для обеспечения огнестойкости текстильным материалам.

Ключевые слова: текстильные материалы, смесовые ткани, гексаметафосфат натрия, антипирен, огнезащитное покрытие, огнезащитная эффективность, воспламеняемость, горение, огнестойкость, возгорание тканевых материалов, огнезащитные свойства, заключительная отделка.

Дюсенбиева Кульмайрам Жаманбаевна PhD

Буркитбай Асемгуль PhD

ПОЛИЭФИР ЖӘНЕ МАҚТАПОЛИЭФИР ТЕКСТИЛЬ МАТЕРИАЛДАРЫНА АРНАЛҒАН ОТҚА ТӨЗІМДІ КОМПОЗИЦИЯ АЛУ

К.Ж. Дюсенбиева, А. Буркитбай*

Алматы технологиялық университет, Алматы қ., Қазақстан

**E-mail: d.kulmairam@mail.ru*

Түйіндеме. *Kіріспе.* Жеңіл өнеркәсіп бұйымдары мен материалдарының негізгі кемшілігі жанғыштығы. Өрт жағдайларынан жасалған анализ және статистика бойынша киім материалдарының тез тұтанып, жалынның жылдам таралуы адам өміріне айтарлықтай қауіп тудыратыны анықталған. Сондықтан көптеген елдерде жоғары температурада металл балкымалары шашырайтын жұмыс жағдайларына арналған арнайы киімдерге, қарт адамдардың киімдеріне, қарттар үйінің төсек орын жабдықтарына, балалар ойыншықтарына, мебель қаптағыш және т.б. бұйымдарға тез тұтанатын материалдарды қолдануға тйым салатын заң қабылданған. Сол себепті, жеңіл өнеркәсіп бұйымдары мен материалдарына жанбайтын қасиет беру өзекті және өте маңызды мәселе. *Жұмыстың мақсаты.* Мақала полиэфир және мақта мен полиэфир аралас талшықтарының маталарына отқа төзімділік қасиет беруге арналған технология алуға бағытталған. Текстиль материалдарына отқа төзімділік қасиет беру тәсілдеріне талдау жасалып, олардың тиімділігі бағаланған. *Әдістеме:* Зерттеу нысаны ретінде келесі құрамдағы маталар таңдалды: полиэфир 100 % (беттік тығыздығы 180 г/м²), полиэфир 65 %/ мақта 35 % (беттік тығыздығы 180 г/м²), полиэфир 65 %/ мақта 35 % (беттік тығыздығы 250 г/м²), полиэфир 40 %/ мақта 60 % (беттік тығыздығы 230 г/м²). Өңдеу композициясын дайындау үшін келесі препараттар қолданылды: натрий гексаметафосфаты 150-200 г/л, полиэтиленгликоль 40 г/л, мочевина 80 г/л. Мата аппреттеуші ерігіндіде өңделіп, сығылып, кептіріліп және термофиксацияланды. *Нәтижелер.* Текстиль материалдарына арналған өте тиімді отқа төзімді құрам алынды. Текстиль материалдарын отқа төзімділік өңдеудің оңтайлы технологиялық параметрлері анықталды. Өңдеудің текстиль материалдарының жану процессіне әсері зерттелді. Отқа төзімділік өңдеудің аппреттелген материалдардың физика-механикалық қасиеттеріне әсері зерттелді. *Қорытынды.* Текстиль жаймаларына отқа төзімділік қасиет беретін, сондай-ақ тұтынымдық қасиетін арттыратын құрамның оңтайлы концентрациялары таңдалды. Отқа төзімділік қасиет беретін құраммен өңделген материалдың эксплуатациялық қасиеттері төмендемейтіні анықталды. Текстиль материалдарына отқа төзімділік қасиет беретін бұл технология қарапайым және әмбебап болып табылады.

Түйінді сөздер: текстиль материалдары, аралас маталар, натрий гексаметафосфаты, антипирен, отқа төзімді жабынды, отқа төзімділік тиімділігі, тұтану, жану, отқа төзімділік, мата материалдарының жануы, отқа төзімділік қасиет, соңғы өңдеу.

Дюсенбиева Кульмайрам Жаманбаевна PhD

Буркитбай Асемгуль PhD

References

1. Reynolds K.J, Zagho M.M, Robertson M., Environmental, Health, and Legislation Considerations for Rational Design of Nonreactive Flame-Retardant Additives for Polymeric Materials: Future Perspectives. *Macromol. Rapid Commun.*, **2022**, 43(24). DOI: <https://doi.org/10.1002/marc.202200472>
2. Häublein M, Demleitner M, Altstädt V., Fire behavior and flame-retardant properties of application-oriented fiber-reinforced polymers (FRPs). *Compos.Mater.*, **2021**, pp. 383-417. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820512-9.00008-3>
3. Karaer Özmen F, Üreyen ME, Koparal AS., Cleaner production of flame-retardant-glass reinforced epoxy resin composite for aviation and reducing smoke toxicity. *J. Clean. Prod.*, **2020**, 276, 124065. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124065>
4. Nabipour H, Hu Y., Introduction to flame retardants for polymeric materials. *Bio-Based Flame-Retardant Tech. Polymeric Mater.*, **2022**, pp.1-27. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90771-2.00018-3>
5. Xu J, Ao X, de la Vega J, et al., Poly (vinyl alcohol) Composite Aerogel toward Lightweight, Remarkable Flame Retardancy, and Thermal Insulation Properties by Incorporating Carbon Nanohorns and Phytic Acid. *ACS Appl. Polym. Mater.*, 6(14), 8027-8039. DOI: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsapm.4c00729>.
6. Yin D, Wang X, Wang Y, et al. Multifunctional Biobased Polyurethane/Tannic Acid Composites with Controllable Damping, Flame-Retardant, and Ultraviolet-Shielding Performances. *ACS Appl. Polym. Mater.*, **2024**, 6(14), 8409-8418. DOI: 10.1021/acsapm.4c01289
7. Marcioni M, Zhao M, Maddalena L, et al. Layer-by-Layer-Coated Cellulose Fibers Enable the Production of Porous, Flame-Retardant, and Lightweight Materials. *ACS Appl. Mater. Interfaces.*, **2023**, 15(30), 36811-36821. DOI: 10.1021/acsami.3c06652
8. Azad MM, Ejaz M, Shah A ur R. A bio-based approach to simultaneously improve flame retardancy, thermal stability and mechanical properties of nano-silica filled jute/thermoplastic starch composite. *Mater. Chem. Phys.*, **2022**, 289, 126485. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.126485>
9. Cui H, Wu N, Ma X, et al. Superior intrinsic flame-retardant phosphorylated chitosan aerogel as fully sustainable thermal insulation bio-based material. *Polym. Degrad. Stab.*, **2023**, 207, 110213. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2022.110213>
10. Madyaratri E, Ridho M, Aristri M, et al. Recent Advances in the Development of Fire-Resistant Biocomposites—A Review. *Polymers.*, **2022**, 14(3), 362. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19084828>
11. Dowbysz A, Samsonowicz M, Kukfisz B. Recent Advances in Bio-Based Additive Flame Retardants for Thermosetting Resins. *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, **2022**, 19(8), 4828. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19084828>
12. Bahrami M, Abenojar J, Martínez MÁ. Recent Progress in Hybrid Biocomposites: Mechanical Properties, Water Absorption, and Flame Retardancy. *Materials.*, **2020**, 13(22): 5145. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13225145>
13. GOST R 50810-95. Pozharnaya bezopasnost' tekstil'nyh materialov. Tkani dekorativnye. Metod ispytaniya na vosplamenyamost' i klassifikaciya.
14. GOST 3813—72 (ISO 5081—77, ISO 5082—82). Materialy tekstil'nye. Tkani i shtuchnye izdelya. Metody opredeleniya razryvnyh karakteristik pri rastyazhenii.
15. GOST 10550-93. Materialy tekstil'nye. Polotna. Metody opredeleniya zhestkosti pri izgibe.
16. GOST 30292-96. Polotna tekstil'nye. Metod ispytaniya dozhdevaniem.

SYNTHESIS AND STUDY OF LUMINESCENT CHARACTERISTICS OF GaBO₃: Yb³⁺

Y.A. Zholdas^{1*}, A.B. Kairova¹, A.B. Kuznetsov², A.M. Bakhadur¹, M.I. Rakhmanova³,
A.K. Bolatov¹, K.A. Kokh²

¹Center of Physical Chemical Methods of Research and Analysis, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Novosibirsk, Russia

³Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry, Novosibirsk, Russia

*E-mail: yerassylzholdas1996@gmail.com

Abstract. *Introduction.* Borates of rare earth elements attract attention due to their unique physical properties due to the peculiarities of their electronic structure and crystal lattice. Ytterbium orthoborates are of great practical importance in the field of infrared luminescence. *The aim of the work.* Investigation of the structure, phase composition and luminescent properties of GaBO₃-based solid solutions doped with ytterbium ions. *Methodology.* Ga_{1-x}Yb_xBO₃ (x = 0, 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.06 and 1) were obtained by solid-phase synthesis. *Results and discussions.* SEM EDS analysis showed that ~1 mol.% Yb dissolves in GaBO₃ at a temperature of 700°C and ~2 mol.% Yb at temperatures of at 800 and 900°C. The results of diffusion experiments indicate that the maximum is ~2 mol.% of Yb ions can be dissolved in gallium borate. These data are consistent with the results of X-ray phase analysis, showing that the ytterbium content is over 2 mol.%, significant impurities and signs of incomplete synthesis are observed. *Conclusion.* The Ga_{0.995}Yb_{0.005}BO₃ and Ga_{0.99}Yb_{0.01}BO₃ compounds exhibit stable luminescent properties with broad peaks at 919 nm and 970 nm. These results highlight the potential of the materials for applications in optoelectronics and photonics.

Key words: crystal structure, phase composition, solid solutions, solid phase synthesis, X-ray phase analysis, rare earth borates, ytterbium, GaBO₃: Yb³⁺, doping, infrared luminescent material.

<i>Zholdas Yerassyl Aidosuly</i>	<i>Researcher; E-mail: yerassylzholdas1996@gmail.com</i>
<i>Kairova Aigerim Berdigalikyzy</i>	<i>2nd year PhD student; E-mail: aigerimkai2445@gmail.com</i>
<i>Kuznetsov Artem Borisovich</i>	<i>Candidate of Geologo and Mineralogical Sciences; E-mail: ku.artemy@igm.nsc.ru</i>
<i>Bakhadur Askar Mughtakuly</i>	<i>PhD, researcher; E-mail: askar.bakhadur@gmail.com</i>
<i>Rakhmanova Marianna Ivanovna</i>	<i>Candidate of Physical and Mathematical sciences; E-mail: rakhmanova_m@mail.ru</i>
<i>Bolatov Asset Kuanyshevich</i>	<i>PhD, Leading Researcher; E-mail: assetbolatov@gmail.com</i>
<i>Kokh Konstantin Aleksandrovich</i>	<i>Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences; E-mail: k.kokh@g.nsu.ru</i>

Citation: Zholdas Y.A., Kairova A.B., Kuznetsov A.B., Bakhadur A.M., Rakhmanova M.I., Bolatov A.K., Kokh K.A. Synthesis and study of luminescent characteristics of GaBO₃: Yb³⁺. *Chem. J. Kaz.*, **2024**, 4(88), 132-142. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.56>

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК GaVO₃: Yb³⁺

Е.А. Жолдас^{1}, А.Б. Кайрова¹, А.Б. Кузнецов², А.М. Бахадур¹, М.И. Рахманова³,
А.К. Болатов¹, К.А. Кох²*

¹*Центр физико-химических методов исследования и анализа, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

²*Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева, Новосибирск, Россия*

³*Институт неорганической химии имени А.В. Николаева, Новосибирск, Россия*

*E-mail: yerassylzholdas1996@gmail.com

Резюме. *Введение.* Бораты редкоземельных элементов привлекают внимание благодаря уникальным физическим свойствам, обусловленным особенностями их электронной структуры и кристаллической решетки. Ортобораты иттербия имеют важное практическое значение в области инфракрасной люминесценции. *Цель.* Исследование структуры, фазового состава и люминесцентных свойств твердых растворов на основе GaVO₃, легированных ионами иттербия. *Методология.* Методом твердофазного синтеза были получены Ga_{1-x}Yb_xVO₃ (x = 0, 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.06 и 1). *Результаты и обсуждение.* Анализ СЭМ ЭДС показал, что в GaVO₃ растворяется ~1 мол.% Yb при температуре 700°C и ~2 мол.% Yb при температурах 800 и 900°C. Результаты диффузионных экспериментов свидетельствуют о том, что максимум ~2 мол.% ионов Yb может растворяться в борате галлия. Эти данные согласуются с результатами рентгенофазового анализа, показывающими, что при содержании иттербия свыше 2 мол.% наблюдаются значительные примеси и признаки неполного протекания синтеза. *Заключение.* Соединения Ga_{0.995}Yb_{0.005}VO₃ и Ga_{0.99}Yb_{0.01}VO₃ проявляют стабильные люминесцентные свойства с широкими пиками на 919 нм и 970 нм. Эти результаты подчеркивают перспективы материалов для применения в оптоэлектронике и фотонике.

Ключевые слова: кристаллическая структура, фазовый состав, твердые растворы, твердофазный синтез, рентгенофазовый анализ, редкоземельные бораты, иттербий, GaVO₃: Yb³⁺, легирование, инфракрасный люминесцентный материал.

<i>Жолдас Ерасыл Айдосұлы</i>	<i>научный сотрудник</i>
<i>Кайрова Айгерим Бердигалиқызы</i>	<i>докторант 1-курса</i>
<i>Кузнецов Артем Борисович</i>	<i>кандидат геолого-минералогических наук</i>
<i>Бахадур Аскар Мухтарұлы</i>	<i>PhD, научный сотрудник</i>
<i>Рахманова Мариана Ивановна</i>	<i>кандидат физико-математических наук</i>
<i>Болатов Асет Куанышевич</i>	<i>PhD, ведущий научный сотрудник</i>
<i>Кох Константин Александрович</i>	<i>доктор геолого-минералогических наук</i>

1. Введение

Бораты редкоземельных элементов привлекают значительное внимание исследователей благодаря широкому спектру физических свойств, который обусловлен уникальными особенностями их электронной структуры и кристаллической решетки [1-4]. Среди этих соединений выделяются ортобораты иттербия, которые имеют важное практическое значение [5, 6]. Для энергетических уровней ионов Yb³⁺ выделяется единственный переход ²F_{5/2} → ²F_{7/2}, соответствующий излучению в диапазоне 900 – 1000 нм [7]. Это излучение, в сочетании с временами жизни возбужденных состояний,

достигающими нескольких миллисекунд, делает данные соединения особенно привлекательными для различных применений, как лазерная обработка материалов, медицина, телекоммуникации и научные исследования [8-11].

Исследования, направленные на поиск подходящих матриц для допирования среди ортоборатов трёхвалентных металлов, зачастую сосредоточены преимущественно на боратных соединениях редкоземельных элементов (РЗЭ), таких как Y, In и Bi [12-14]. Однако в этой области существует значительный пробел: соединения с участием металлов с меньшими ионными радиусами, таких как Al, Ga и Sc, почти не представлены в научной литературе. Только в редких случаях можно встретить упоминания о таких материалах, как смешанные ортобораты типа $\text{LnM}_3(\text{BO}_3)_4$ [15] и $\text{YbGa}(\text{BO}_3)_2$ [16]. Несмотря на их потенциальную перспективность, эти соединения остаются недостаточно изученными.

В данной работе представлены результаты комплексного исследования системы $\text{YbBO}_3 - \text{GaBO}_3$. Основное внимание уделено изучению фазового состава и особенностям синтеза однофазных образцов. Таким образом, расширение исследований на соединения с галлием может не только обогатить фундаментальные знания в области химии и материаловедения, но и предложить новые решения для практических приложений в высокотехнологичных отраслях, таких как оптоэлектроника, лазерная техника и сенсорные технологии.

2. Экспериментальная часть

Соединения $\text{Ga}_{1-x}\text{Yb}_x\text{BO}_3$ ($x = 0, 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.06$ и 1) были синтезированы методом твердофазной реакции. Стехиометрически рассчитанные количества высокочистых исходных веществ Ga_2O_3 , Yb_2O_3 и H_3BO_3 были взвешены на аналитических весах, тщательно перемешаны и измельчены в яшмовой ступке. Важно отметить, что при синтезе $\text{Ga}_{1-x}\text{Yb}_x\text{BO}_3$ ($x = 0, 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05$ и 0.06) в смесь было добавлено 10% борной кислоты от общей массы реагентов для компенсации улетучивания B_2O_3 при высоких температурах.

Полученную смесь прокаливали в платиновом тигле при температуре 550°C в течение 12 часов. Затем смесь повторно перемешивали и подвергали прокатке при температуре 700°C (для GaBO_3) и 900°C (для YbBO_3). Для смешанных образцов $\text{Ga}_{1-x}\text{Yb}_x\text{BO}_3$ ($x = 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05$ и 0.06) после первого этапа проводили два последовательных отжига с перемешиванием при температурах 700 и 850°C , каждый продолжительностью 12 часов. По окончании 12-часового нагрева образцы быстро охлаждали на воздухе. Полнота протекания реакции контролировалась рентгенофазовым анализом.

Фазовый анализ полученных соединений был выполнен методом рентгеновской дифракции на порошке с использованием дифрактометра Брегга-Брентано TD-3700 (Tongda, Китай) с применением $\text{CuK}\alpha$ излучения.

Диапазон сканирования составлял от 10° до 60° с шагом 0.02° на шаг сканирования.

Для более точного изучения ширины областей гомогенности были проведены диффузионные эксперименты путем отжига спрессованных двухкомпонентных таблеток, состоящих из GaBO_3 и YbBO_3 . Методика заключалась в следующем: синтезированные методом твердофазного синтеза соединения GaBO_3 и YbBO_3 были измельчены в яшмовой ступке в течение 3 минут. Из этой смеси были спрессованы таблетки диаметром 10 мм под давлением до 1 т/см^2 . Полученные таблетки отжигали при температурах 700, 800 и 900°C в течение 12 часов. После чего полученные образцы заливались эпоксидной смолой и изучались с помощью сканирующей электронной микроскопии. Химические составы были измерены методом сканирующей электронной микроскопии с приставкой для энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (СЭМ ЭДС) на приборе MIRA 3LMU (TESCAN, Чехия). Спектры возбуждения и испускания однофазных соединений были зарегистрированы с использованием спектрофлуориметра Horiba Fluorolog3, который оснащен непрерывными 450 Вт и импульсными ксеноновыми лампами в качестве источников света.

3. Результаты и обсуждения

На рисунке 1а представлены рентгеновские дифрактограммы полученных соединений $\text{Ga}_{1-x}\text{Yb}_x\text{BO}_3$ ($x = 0, 0.005, 0.01, 0.02$ и 0.05) и расчетная дифрактограмма GaBO_3 [17]. При синтезе чистого соединения GaBO_3 были обнаружены пики, соответствующие Ga_2O_3 (* на рисунке 1а). Добавка 10% борной кислоты от общей массы реагентов позволила получить чистое соединение GaBO_3 при температуре 700°C .

Согласно дифрактограммам соединений $\text{Ga}_{1-x}\text{Yb}_x\text{BO}_3$ ($x = 0.005, 0.01, 0.02$ и 0.05) после отжига при температуре 700°C (рисунок 1а), было зафиксировано множество примесных пиков, соответствующих Ga_2O_3 , что указывает на неполное завершение синтеза. Также на дифрактограммах $\text{Ga}_{1-x}\text{Yb}_x\text{BO}_3$ ($x = 0.005, 0.01, 0.02$ и 0.05) наблюдаются пики бората иттербия (* на рисунке 1а), интенсивность которых увеличивается с ростом содержания иттербия, при этом пики постепенно смещаются в сторону меньших углов с увеличением концентрации Yb^{3+} в образце. Учитывая наличие пиков оксида галлия в образцах, было принято решение повысить температуру синтеза до температуры 850°C . Второй этап заключался в отжиге образцов $\text{Ga}_{1-x}\text{Yb}_x\text{BO}_3$ ($x = 0.005, 0.01, 0.03$ и 0.06) при температуре 850°C (рисунок 1б). На основании данных рентгенофазового анализа можно сделать вывод, что были получены чистые соединения $\text{Ga}_{1-x}\text{Yb}_x\text{BO}_3$ ($x = 0.005$ и 0.01). Кристаллическая структура этих соединений остается практически неизменной и изоструктурна GaBO_3 , при этом наблюдаются заметные сдвиги всех дифракционных пиков в сторону меньших углов с увеличением концентрации ионов Yb^{3+} . В дифрактограммах $\text{Ga}_{1-x}\text{Yb}_x\text{BO}_3$ ($x = 0.03$ и 0.06)

наблюдаются пики бората иттербия (* на рисунке 1б). При увеличении концентрации иттербия интенсивность этих пиков возрастает, и они постепенно смещаются в сторону меньших углов с увеличением содержания ионов Yb^{3+} .

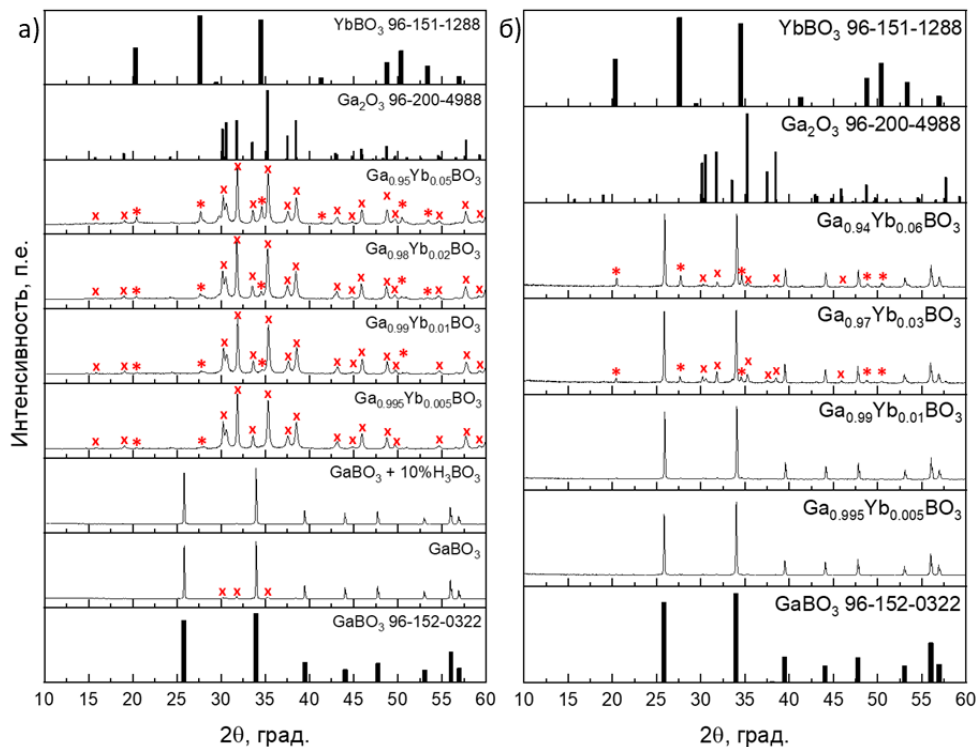


Рисунок 1 - Дифрактограммы $\text{Ga}_{1-x}\text{Yb}_x\text{BO}_3$ ($x = 0, 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05$ и 0.06) после отжига при температурах: а) 700°C и б) 850°C (x – Ga_2O_3 и * – YbBO_3).

Также была проверена теория существования соединения $\text{YbGa}_3(\text{BO}_3)_4$. По результатам рентгенофазового анализа образца (рисунок 2), синтезированного при данном соотношении реагентов, были зафиксированы фазы Ga_2O_3 (x на рисунке 2), Yb_2O_3 (0 на рисунке 2) и YbBO_3 (* на рисунке 2). Образование новой фазы, предполагаемой как $\text{YbGa}_3(\text{BO}_3)_4$, не выявлено. Следует отметить, что по мере увеличения температуры интенсивность пиков Yb_2O_3 снижается. При достижении температуры до 900°C на дифрактограмме появляются новые пики (1 на рисунке 2), отсутствующие на низкотемпературных этапах. Эти пики могут указывать на возможное формирование фазы $\text{YbGa}(\text{BO}_3)_2$, поскольку её существование предположено авторами [16] на основании данных ИК-спектроскопии, хотя дифрактограммы этого соединения в доступных источниках отсутствуют.

Для получения более точной информации о составах фаз были проведены диффузионные эксперименты. Эксперименты включали отжиг

двухкомпонентных таблеток, состоящих из соединений GaBO_3 и YbVO_3 , которые были предварительно синтезированы при температурах 700 и 900°C соответственно. Анализ СЭМ ЭДС показал, что в GaBO_3 растворяется ~1 мол.% Yb при температуре 700°C и ~2 мол.% Yb при температурах 800 и 900°C (рисунок 3). Результаты диффузионных экспериментов свидетельствуют о том, что максимум ~2 мол.% ионов Yb может растворяться в борате галлия. Эти данные согласуются с результатами рентгенофазового анализа, которые показывают, что в синтезированных соединениях при легировании ионами иттербия свыше 2 мол.% наблюдаются значительные примеси, а также указывает на признаки неполного протекания синтеза. Согласно данным РФА и диффузионных экспериментов только соединения с 0.5 и 1 мол.% Yb являются твердыми растворами на основе GaBO_3 . Тогда как все другие полученные соединения представлены смесью фаз.

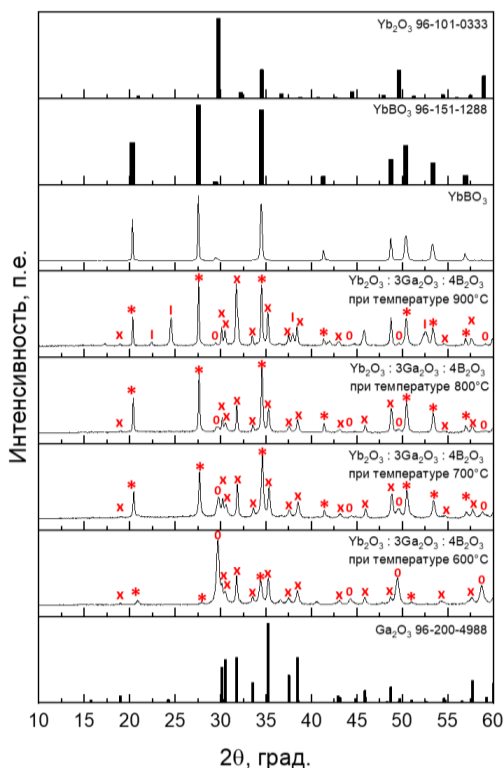


Рисунок 2 - Дифрактограммы: а) $\text{YbGa}_3(\text{BO}_3)_4$ и б) YbVO_3
(^x – Ga_2O_3 , ^o – Yb_2O_3 , * – YbVO_3 и ^I – $\text{YbGa}(\text{BO}_3)_2$).

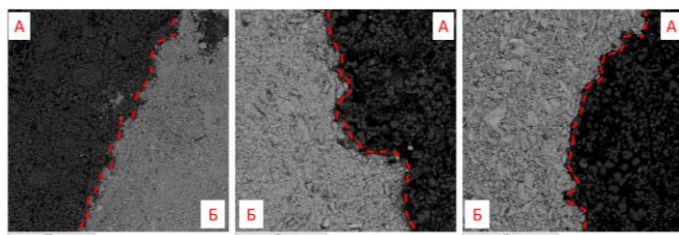


Рисунок 3 - Фотографии фазовых контактов GaBO_3 (А) и YbBO_3 (Б) при температурах 700, 800 и 900°C, полученные с помощью СЭМ

Для $\text{Ga}_{0.995}\text{Yb}_{0.005}\text{BO}_3$ и $\text{Ga}_{0.99}\text{Yb}_{0.01}\text{BO}_3$ были изучены спектры возбуждения фотолюминесценции (СВЛ) и фотолюминесценции (СЛ) (рисунок 4). СВЛ образцов $\text{Ga}_{0.995}\text{Yb}_{0.005}\text{BO}_3$ и $\text{Ga}_{0.99}\text{Yb}_{0.01}\text{BO}_3$ демонстрируют широкий пик в диапазоне длин волн 875 – 920 нм с максимумом на 919 нм. Эти пики обусловлены переходами электронов с подуровня $^2F_{7/2}$ в возбужденное состояние $^2F_{5/2}$, что характерно для ионов Yb^{3+} . Интересно, что интенсивности спектров для обоих образцов различаются незначительно, оставаясь в пределах экспериментальной погрешности. Этот факт указывает на стабильность и воспроизводимость механизмов переноса энергии в данных материалах, несмотря на различие в концентрации иттербия.

СЛ образцов $\text{Ga}_{0.995}\text{Yb}_{0.005}\text{BO}_3$ и $\text{Ga}_{0.99}\text{Yb}_{0.01}\text{BO}_3$ характеризуются наличием широкого пика в диапазоне длин волн 950 – 1000 нм, с ярко выраженным максимумом на уровне 970 нм. Этот пик обусловлен электронными переходами с подуровня в возбужденном состоянии $^2F_{5/2}$ на первый подуровень в основном состоянии $^2F_{7/2}$ ионов Yb^{3+} , что является характерной чертой для таких материалов.

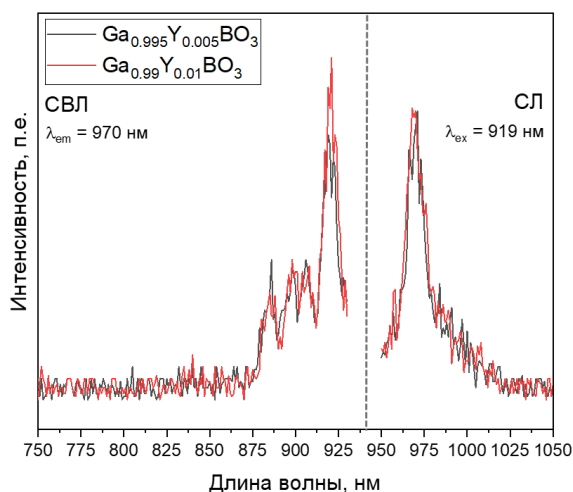


Рисунок 4 - СВЛ и СЛ $\text{GaBO}_3: x\text{Yb}$ ($x = 0.005$ и 0.01).

4. Заключение

Результаты исследований продемонстрировали, что соединения $Ga_{1-x}Yb_xVO_3$ ($x = 0.005$ и 0.01) являются твердыми растворами на основе $GaVO_3$, что подтверждается данными РФА и диффузионных экспериментов. Несмотря на близость ионных радиусов Yb и Ga (0.868\AA и 0.620\AA в VI координации соответственно [18]), изоморфизм между ними ограничен и составляет не более 2% в структуре $GaVO_3$. Соединения $Ga_{0.995}Yb_{0.005}VO_3$ и $Ga_{0.99}Yb_{0.01}VO_3$, полученные в ходе синтеза, проявляют стабильные и воспроизводимые люминесцентные свойства. Они демонстрируют широкие пики на СВЛ и СЛ с максимумами на 919 нм и 970 нм соответственно.

Финансирование. Работа была выполнена при финансовой поддержке гранта МНВО РК «Кристаллохимия и оптические свойства функциональных ортоборатов иттербия» [ИРН AP19575956]; государственного задания ИГМ СО РАН № 122041400031-2.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов между авторами, требующего раскрытия в данной статье.

$GaVO_3$: Yb^{3+} СИНТЕЗИ ЖӘНЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТТІ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

Е.А. Жолдас^{1*}, А.Б. Кайрова¹, А.Б. Кузнецов², А.М. Бахадур¹, М.И. Рахманова³,
А.К. Болатов¹, К.А. Кох²

¹Физика-химиялық зерттеу және талдау әдістері орталығы, әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²В.С. Соболев атындағы геология және минералогия институты, Жаңасібір, Ресей

³А.В. Николаев атындағы бейорганикалық химия институты, Жаңасібір, Ресей

*E-mail: yerassylzholdas1996@gmail.com

Түйіндемe. *Кіріспе.* Сирекжер элементтерінің бораттары электронды құрылым мен кристалдық тор ерекшеліктеріне байланысты бірегей физикалық қасиеттерімен зерттеушілердің назарын аударады. Иттербийдің ортобораттары инфрақызыл люминесценция саласында маңызды практикалық маңызға ие. *Жұмыс мақсаты.* Иттербий иондарымен легирленген $GaVO_3$ негізіндегі қатты ерітінділердің құрылымын, фазалық құрамын және люминесценттік қасиеттерін зерттеу. *Әдістер.* $Ga_{1-x}Yb_xVO_3$ қосылыстары ($x = 0, 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.06$ және 1) қатты фазалық синтез арқылы алынды. *Нәтижелер мен талқылаулар.* ЭДТ СЭМ нәтижесі бойынша $GaVO_3$ -те 700°C температурада ~1 мол.% Yb және 800 және 900°C температураларда ~2 мол.% Yb ерігенін көрсетті. Диффузиялық тәжірибелердің нәтижелері галлий боратында максимум ~2 мол.% Yb иондарын ерітуге болатынын көрсетеді. Бұл мәліметтер иттербийдің мөлшері 2 мол.%-дан жоғары болған кезде елеулі қоспалар және толық емес синтез белгілері байқалатынын көрсететін рентгенфазалық талдау нәтижелерімен сәйкес келеді. *Қорытынды.* $Ga_{0.995}Yb_{0.005}VO_3$ және $Ga_{0.99}Yb_{0.01}VO_3$ қосылыстары 919 нм- және 970 нм-де кең шындыры бар тұрақты люминесценттік қасиеттерді көрсетеді. Бұл нәтижелер материалдардың оптоэлектроника мен фотоникада қолдану мүмкіндіктерін айқындайды.

Түйін сөздер: кристалдық құрылым, фазалық құрам, қатты ерітінділер, қатты фазалық синтез, рентгенфазалық талдау, сирекжер бораттары, иттербий, $GaVO_3$: Yb^{3+} , легирлеу, инфрақызыл люминесцентті материал.

Жолдас Ерасыл Айдосұлы

Ғылыми қызметкер

Кайрова Айгерим Бердигалиқызы

1-курс докторанты

Кузнецов Артем Борисович	Геология-минералогия ғылымдарының кандидаты
Бахадур Аскар Мұхтарұлы	PhD, ғылыми қызметкер
Рахманова Мариана Ивановна	Физика-математика ғылымдарының кандидаты
Болатов Асет Қуанышевич	PhD, жетекші ғылыми қызметкер
Кох Константин Александрович	Геология-минералогия ғылымдарының докторы

Список литературы:

1. Kuznetsov, A.B., Kokh, K.A., Kaneva, E.V., Jamous, A.Y., Svetlichnyi, V.A., Kononova, N.G., Goreiavcheva A.A, Kokh, A.E. Systematic rare Earth doping to adopt an R32 type huntite structure in NdSc₃(BO₃)₄ crystals. *Dalt. Trans.*, **2024**, 53(8), 3818-3824. <https://doi.org/10.1039/D3DT03942K>.
2. Gupta, I., Singh, S., Bhagwan, S., Singh, D. Rare earth (RE) doped phosphors and their emerging applications: A review. *Ceram. Int.*, **2021**, 47(14), 19282-19303. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.03.308>.
3. Münchhalden, M., Schreuer, J., Reuther, C., Mehner, E., Stöcker, H. Elastic, piezoelectric, and dielectric properties of rare-earth calcium oxoborates RCa₄O (BO₃)₃ (R= Er, Y, Dy, Gd, Sm, Nd, La). *J. Appl. Phys.*, **2021**, 130(9). <https://doi.org/10.1063/5.0061747>.
4. Zhang, N., Han, S.S., Xie, Y., Chen, D.L., Yao, W.D., Huang, X., Liu, W., Guo, S.P. Mixed Rare-Earth Chalcogenide Borate Eu_{9-x}RE_xMgS₂B₂₀O₄₁ (RE= Sm, Gd) Featuring a 3D {[B₂₀O₄₁]²²⁻}_∞ Framework Connected by [B₆O₉(O_{0.5})₆]⁶⁻ and [B₇O₁₃(O_{0.5})₃]⁸⁻ Clusters. *Inorg. Chem.*, **2023**, 62(20), 7681-7688. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.2c04272>.
5. Kuznetsov, A.B., Jamous, A.Y., Svetlichnyi, V.A., Shevchenko, V.S., Kokh, A.E., Andreev, Y.M., Kokh, K.A. Luminescence Properties of Solid-Solutions in Sr₃B₂O₆-YbBO₃ System. *J. Struct. Chem.*, **2024**, 65(8), 1502-1512. <http://dx.doi.org/10.1134/S0022476624080031>.
6. Kuznetsov, A.B., Kokh, K.A., Sagatov, N., Gavryushkin, P.N., Molokeev, M.S., Svetlichnyi, V.A., Lapin, I.N., Kononova, N.G., Shevchenko, V.S., Bolatov, A.K., Uralbekov, B.M., Goreiavcheva, A.A., Kokh, A.E. Synthesis and growth of rare earth borates NaSrR(BO₃)₂ (R= Ho-Lu, Y, Sc). *Inorg. Chem.*, **2022**, 61(19), 7497-7505. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.2c00596>.
7. Lengyel, K., Tichy-Rács, É., Timpmann, K., Vielhauer, S., Romet, I., Kovács, L., Corradi, G., Butkus, R., Vengris, M., Grigonis, R., Sirutkaitis, V., Sildos, I., Kiisk, V., Puust, L., Nagirnyi, V. Cooperative luminescence of Yb³⁺ ion pairs in Li₆Y(BO₃)₃: Yb single crystals. *J. Lumin.*, **2021**, 230, 117732. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2020.117732>.
8. Druon, F., Chenais, S., Raybaut, P., Balembois, F., Georges, P., Gaume, R., Aka, G., Viana, B., Mohr, S., Kopf, D. Diode-pumped Yb: Sr₃Y(BO₃)₃ femtosecond laser. *Opt. Lett.*, **2002**, 27(3), 197-199. <https://doi.org/10.1364/OL.27.000197>.
9. Dekker, P., Dawes, J.M., Piper, J.A. 2.27-W Q-switched self-doubling Yb: YAB laser with controllable pulse length. *J. Opt. Soc. Am. B.*, **2005**, 22(2), 378-384. <https://doi.org/10.1364/JOSAB.22.000378>.
10. Chaika, M., Tomala, R., Streck, W. Laser induced broadband Vis and NIR emission from Yb: YAG nanopowders. *J. Alloys Compd.*, **2021**, 865, 158957. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.158957>.
11. Grabtchikov, A.S., Kuzmin, A.N., Lisinetskii, V.A., Orlovich, V.A., Demidovich, A.A., Danailov, M.B., Eichler, H.J., Bednarkiewicz A., Streck W., Titov, A.N. Laser operation and Raman self-frequency conversion in Yb: KYW microchip laser. *Appl. Phys. B.*, **2002**, 75, 795-797. <https://doi.org/10.1007/s00340-002-1025-2>.
12. Srivastava, S., Behera, S.K., Nayak, B.B. Optimization and photoluminescence behaviour of terbium doped YBO₃ phosphors. *Opt. Mater.*, **2020**, 107, 110178. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2020.110178>.
13. Shi, M., Shao, Q., Yao, L., Yu, S., Dong, Y., Jiang, J. Molten salt synthesis of broad-band near-infrared InBO₃: Cr³⁺ submicron phosphor and its luminescent enhancement by lanthanide ion codoping. *Inorg. Chem.*, **2022**, 61(31), 12275-12283. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.2c01477>.

14. Cheng, Y., Xiao, H., Guo, W. Influences of La³⁺ and Er³⁺ on structure and properties of Bi₂O₃–B₂O₃ glass. *Ceram. Int.*, **2008**, 34(5), 1335-1339. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2007.03.028>.
15. Kuz'micheva, G.M., Kaurova, I.A., Rybakov, V.B., Podbel'skiy, V.V. Crystallochemical design of huntite-family compounds. *Crystals.*, **2019**, 9(2), 100. <https://doi.org/10.3390/cryst9020100>.
16. Beregi, E., Watterich, A., Madarász, J., Tóth, M., Polgár, K. X-ray diffraction and FTIR spectroscopy of heat treated R₂O₃:3Ga₂O₃:4B₂O₃ systems. *J. Cryst. Growth.*, **2002**, 237, 874-878. [https://doi.org/10.1016/S0022-0248\(01\)02042-5](https://doi.org/10.1016/S0022-0248(01)02042-5).
17. Wang, S., Ye, N., Poeppelmeier, K.R. Flux growth and crystal structure refinement of calcite type borate GaBO₃. *Crystals.*, **2015**, 5(2), 252-260. <https://doi.org/10.3390/cryst5020252>.
18. Shannon, R.D. Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides. *Acta Crystallogr. Sect. A.*, **1976**, 32(5), 751-767. <https://doi.org/10.1107/S0567739476001551>.

References

1. Kuznetsov, A.B., Kokh, K.A., Kaneva, E.V., Jamous, A.Y., Svetlichnyi, V.A., Kononova, N.G., Goreiavcheva A.A., Kokh, A.E. Systematic rare Earth doping to adopt an R32 type huntite structure in NdSc₃(BO₃)₄ crystals. *Dalt. Trans.*, **2024**, 53(8), 3818-3824. <https://doi.org/10.1039/D3DT03942K>.
2. Gupta, I., Singh, S., Bhagwan, S., Singh, D. Rare earth (RE) doped phosphors and their emerging applications: A review. *Ceram. Int.*, **2021**, 47(14), 19282-19303. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.03.308>.
3. Münchhelfen, M., Schreuer, J., Reuther, C., Mehner, E., Stöcker, H. Elastic, piezoelectric, and dielectric properties of rare-earth calcium oxoborates RCa₄O (BO₃)₃ (R= Er, Y, Dy, Gd, Sm, Nd, La). *J. Appl. Phys.*, **2021**, 130(9). <https://doi.org/10.1063/5.0061747>.
4. Zhang, N., Han, S.S., Xie, Y., Chen, D.L., Yao, W.D., Huang, X., Liu, W., Guo, S.P. Mixed Rare-Earth Chalcogenide Borate Eu_{9-3x}RE_xMgS₂B₂₀O₄₁ (RE= Sm, Gd) Featuring a 3D {[B₂₀O₄₁]²²⁻}_∞ Framework Connected by [B₆O₅(O_{0.5})₆]⁶⁻ and [B₇O₁₃(O_{0.5})₃]⁸⁻ Clusters. *Inorg. Chem.*, **2023**, 62(20), 7681-7688. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.2c04272>.
5. Kuznetsov, A.B., Jamous, A.Y., Svetlichnyi, V.A., Shevchenko, V.S., Kokh, A.E., Andreev, Y.M., Kokh, K.A. Luminescence Properties of Solid-Solutions in Sr₃B₂O₆–YbBO₃ System. *J. Struct. Chem.*, **2024**, 65(8), 1502-1512. <http://dx.doi.org/10.1134/S0022476624080031>
6. Kuznetsov, A.B., Kokh, K.A., Sagatov, N., Gavryushkin, P.N., Molokeev, M.S., Svetlichnyi, V.A., Lapin, I.N., Kononova, N.G., Shevchenko, V.S., Bolatov, A.K., Uralbekov, B.M., Goreiavcheva, A.A., Kokh, A.E. Synthesis and growth of rare earth borates NaSrR(BO₃)₂ (R= Ho–Lu, Y, Sc). *Inorg. Chem.*, **2022**, 61(19), 7497-7505. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.2c00596>.
7. Lengyel, K., Tichy-Rács, É., Timpmann, K., Vielhauer, S., Romet, I., Kovács, L., Corradi, G., Butkus, R., Vengris, M., Grigonis, R., Sirutkaitis, V., Sildos, I., Kiisk, V., Puust, L., Nagirnyi, V. Cooperative luminescence of Yb³⁺ ion pairs in Li₆Y(BO₃)₃: Yb single crystals. *J. Lumin.*, **2021**, 230, 117732. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2020.117732>.
8. Druon, F., Chenais, S., Raybaut, P., Balembois, F., Georges, P., Gaume, R., Aka, G., Viana, B., Mohr, S., Kopf, D. Diode-pumped Yb: Sr₃Y(BO₃)₃ femtosecond laser. *Opt. Lett.*, **2002**, 27(3), 197-199. <https://doi.org/10.1364/OL.27.000197>.
9. Dekker, P., Dawes, J.M., Piper, J.A. 2.27-W Q-switched self-doubling Yb: YAB laser with controllable pulse length. *J. Opt. Soc. Am. B.*, **2005**, 22(2), 378-384. <https://doi.org/10.1364/JOSAB.22.000378>.
10. Chaika, M., Tomala, R., Streck, W. Laser induced broadband Vis and NIR emission from Yb: YAG nanoparticles. *J. Alloys Compd.*, **2021**, 865, 158957. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.158957>.
11. Grabtchikov, A.S., Kuzmin, A.N., Lisinetskii, V.A., Orlovich, V.A., Demidovich, A.A., Danailov, M.B., Eichler, H.J., Bednarkiewicz, A., Streck, W., Titov, A.N. Laser operation and Raman self-frequency conversion in Yb: KYW microchip laser. *Appl. Phys. B.*, **2002**, 75, 795-797. <https://doi.org/10.1007/s00340-002-1025-2>.
12. Srivastava, S., Behera, S.K., Nayak, B.B. Optimization and photoluminescence behaviour of terbium doped YBO₃ phosphors. *Opt. Mater.*, **2020**, 107, 110178. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2020.110178>.

13. Shi, M., Shao, Q., Yao, L., Yu, S., Dong, Y., Jiang, J. Molten salt synthesis of broad-band near-infrared InBO_3 : Cr^{3+} submicron phosphor and its luminescent enhancement by lanthanide ion codoping. *Inorg. Chem.*, **2022**, 61(31), 12275-12283. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.2c01477>.
14. Cheng, Y., Xiao, H., Guo, W. Influences of La^{3+} and Er^{3+} on structure and properties of Bi_2O_3 - B_2O_3 glass. *Ceram. Int.*, **2008**, 34(5), 1335-1339. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2007.03.028>.
15. Kuz'micheva, G.M., Kaurova, I.A., Rybakov, V.B., Podbel'skiy, V.V. Crystallochemical design of huntite-family compounds. *Crystals.*, **2019**, 9(2), 100. <https://doi.org/10.3390/cryst9020100>.
16. Beregi, E., Watterich, A., Madarász, J., Tóth, M., Polgár, K. X-ray diffraction and FTIR spectroscopy of heat treated R_2O_3 : $3\text{Ga}_2\text{O}_3$: $4\text{B}_2\text{O}_3$ systems. *J. Cryst. Growth.*, **2002**, 237, 874-878. [https://doi.org/10.1016/S0022-0248\(01\)02042-5](https://doi.org/10.1016/S0022-0248(01)02042-5).
17. Wang, S., Ye, N., Poeppelmeier, K.R. Flux growth and crystal structure refinement of calcite type borate GaBO_3 . *Crystals.*, **2015**, 5(2), 252-260. <https://doi.org/10.3390/cryst5020252>.
18. Shannon, R.D. Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides. *Acta Crystallogr. Sect. A.*, **1976**, 32(5), 751-767. <https://doi.org/10.1107/S0567739476001551>

МАЗМҰНЫ

<i>К.А. Кадирбеков, А.Ж. Абиоров, Н.А. Бузаев, Н.Н. Оралбаев, Г.Г. Сейтхал, С.Дадыка, И.А. Сафронова, С.С. Жолдыбаев, М.Т. Ошақбаева, А.А. Еспенбетов, С.А.Шитыбаев</i> Көмір шайыры жеңіл дистиллатының негізінде жанармай қосылысының синтезі	5
<i>Г.С. Ирмухаметова, Д.Н. Махаева, Ж. Қожантаева, В.В. Хуторянский</i> Полигидроксипропилметакрилат және 3-меркаптопропилтриметоксисилан негізіндегі тиолданған полимерлердің синтезі мен мукоадгезивті қасиеттерін зерттеу	14
<i>Т.К.Джумадилов, Г.Т.Дюсембаева, Ж.С. Муқатаева, Ю.В.Гражулявичюс</i> КУ-2-8:АВ-17-8 интерполимерлік жүйелерінің өзара қашықтықтан әрекеттесу ерекшеліктері	25
<i>Қ.Б. Тілебаев, Н.А. Бектенов, А.И. Құлчишин, Н.У. Жантеисов, Б.У. Сабуров</i> Электронды сәулелену мен температураға ұшыраған политетрафторэтиленнің қабықшаның құрылымы	35
<i>Ш.Н. Кубекова, В.И. Капралова, А.С. Райымбекова, И.Ю. Мотовилов, Г.Т. Ибраимова, Н.А. Ихсан, В.Е. Кузнецов</i> Биорганикалық материалдарды өндіруге марганті рудаларының қалдықтарын байыту мүмкіндігін зерттеу	46
<i>Т.К. Джумадилов, М.Т. Сулейменова, Ю.В. Гражулявичюс</i> Қашықтан әрекеттесу барысында полиакрил қышқылы және поли-2-метил-5-винилпиридин гидрогельдерінің су ортасындағы электрохимиялық және конформациялық қасиеттерінің өзгерісін зерттеу	57
<i>Р.А.Сарсембекова, П. Пурафиари, М.О. Исахов, А.А.Шарипова, А.Б. Исаева, Д.А.Аргимбаев</i> Нанобөлшек композиттерінің мұнайсысу тиімділігіне әсерін зерттеу	66
<i>Қ.А.Садықов, Н.А.Бектенов, Т.К. Чалов, Н.С. Чинибаева, Н.С. Жусипбекова, А.К. Байдуллаева</i> Органоминерал негізіндегі жаңа ионалмастырғыш сорбенттер синтезі	77
<i>Р.М. Кудайбергенова, Э.А. Байбазарова, Ж.Б. Хамзина</i> NiFe ₂ O ₄ шпинельдік нанобөлшектердің синтезі және сипаттамасы	87
<i>Л.К. Кудреева, М.Б. Абу, А.М. Сарсенбаева, Д.Х. Камысбаев, К.А. Исабекова</i> Молибденнің сулы диметисульфоксид ерітіндісіндегі электрохимиялық қасиеті	95
<i>Ж.Н. Уванисканова, Г.А. Сейтимова, Г.Ш. Бурашева, М.И. Чаудхари</i> Семсер тәрізді канавилия тұқымдарының (<i>canavalia ensiformis</i> (L.) DC) амин және май қышқылы құрамы	103
<i>А.И. Дегерт, Ю.С. Бызова, А.Н. Дюрягина, Г.Б. Аубакирова, А.А. Луценко</i> Модификацияланған битум жүйелеріндегі фазааралық процестер	113
<i>К.Ж. Дюсенбиева, А. Буркитбай</i> Полиэфир және мақтаполиэфир текстиль материалдарына арналған отқа төзімді композиция алу	123
<i>Е.А. Жолдас, А.Б. Кайрова, А.Б. Кузнецов, А.М. Бахадур, М.И. Рахманова, А.К. Болатов, К.А. Кох</i> GaVO ₃ : Yb ³⁺ синтезі және люминесцентті сипаттамаларын зерттеу	132

СОДЕРЖАНИЕ

<i>К.А. Кадирбеков, А.Ж. Абюров, Н.А. Бузаев, Н.Н. Оралбаев, Г.Г. Сейтхал, С.Дадыка, И.А. Сафронова, С.С. Жолдыбаев, М.Т. Ошақбаева, А.А. Еспенбетов, С.А.Шитыбаев</i> Синтез топливного компаунда на основе лёгкого дистиллята каменноугольной смолы	5
<i>Г.С. Ирмухаметова, Д.Н. Махаева, Ж. Кожантаева, В.В. Хуторянский</i> Синтез и изучение мукоадгезивных свойств тиолированных полимеров на основе полигидроксизетилметакрилат и 3-меркаптопропилтриметоксисилана	14
<i>Т.К. Джумадилов, Г.Т. Дюсембаева, Ж.С. Мукатаева, Ю.В. Гражулявичюс</i> Влияние эффекта дистанционного взаимодействия интерполимерной системы КУ-2-8:АВ-17-8	25
<i>К.Б. Тлебаев, Н.А. Бектенов, А.И. Купчишин, Н.У. Жанпеисов, Б.У. Сабуров</i> Структура пленки политетрафторэтилена, подверженная воздействию электронного излучения и температур	35
<i>Ш.Н. Кубекова, В.И. Капралова, А.С. Раимбекова, И.Ю. Мотовилов, Г.Т. Ибраимова, Н.А. Ихсан, В.Е. Кузнецов</i> Исследование возможности вовлечения отходов обогащения марганцевых руд в производство неорганических материалов	46
<i>Т.К. Джумадилов, М.Т. Сулейменова, Ю.В. Гражулявичюс</i> Электрохимические и конформационные свойства гидрогелей полиакриловая кислота и поли-2-метил-5-винилпиридин при их удаленном взаимодействии в водной среде	57
<i>Р.А.Сарсембекова, П. Пурафшари, М.О. Исахов, А.А.Шарипова, А.Б. Исаева, Д.А.Аргымбаев</i> Исследование влияния композитов наночастиц на эффективность нефтewытеснения	66
<i>Қ.А.Садыков, Н.А.Бектенов, Т.К. Чалов, Н.С. Чинибаева, Н.С. Жусипбекова, А.К. Байдуллаева</i> Синтез новых ионообменных сорбентов на органоминеральной основе	77
<i>Р.М. Кудайбергенова, Э.А. Байбазарова, Ж.Б. Хамзина</i> Синтез и характеристика наночастиц шпинели NiFe ₂ O ₄	87
<i>Л.К. Кудреева, М.Б. Абу, А.М. Сарсенбаева, Д.Х. Камысбаев, К.А. Исабекова</i> Электрохимические свойства молибдена в водном растворе диметилсульфоксида	95
<i>Ж.Н. Уванисканова, Г.А. Сейтимова, Г.Ш. Бурашева, М.И. Чаудхари</i> Амино- и жирнокислотный состав семян канавилии мечевидной (<i>canavalia ensiformis</i> (L.) DC)	103
<i>Дегерт А.И., Дюрягина А.Н., Бызова Ю.С., Аубакирова Г.Б., Луценко А.А.</i> Межфазные процессы в модифицированных битумных системах	113
<i>К.Ж. Дюсенбиева, Буркитбай А.</i> Создание огнестойких композиций для полиэфирных и хлопкополиэфирных текстильных материалов	123
<i>Е.А. Жолдас, А.Б. Кайрова, А.Б. Кузнецов, А.М. Бахадур, М.И. Рахманова, А.К. Болатов, К.А. Кох</i> Синтез и исследование люминесцентных характеристик GaVO ₃ : Yb ³⁺	132

CONTENTS

<i>K.A. Kadirbekov, A.Zh. Abyurov, N.A. Buzayev, N.N. Oralbayev, G.G. Seitkhal, S. Dadyka, I.A. Safronova, S.C. Zholdybayev, M.T. Oshakbaev, A.A. Yespenbetov, S.A. Shitybaev</i> Synthesis of fuel compound based on light distillate of coal tar	5
<i>G.S. Irmukhametova, D.N. Makhayeva, Zh. Kozhantayeva, V.V. Khutoryanskiy</i> Synthesis and study of mucoadhesive properties of thiolated polymers based on polyhydroxyethylmethacrylate and 3-mercaptopropyltrimethoxysilane	14
<i>T.K. Jumadilov, G.T. Dyussebayeva, Zh.S. Mukatayeva, J. Gražulevicius</i> Influence of the effect of remote interaction of the interpolymer system KU-2-8:AV-17-8	25
<i>K.B. Tlebaev, N.A. Bektenov, A.I. Kupchishin, N.U. Zhanpeisov, B.U. Saburov</i> Structure of polytetrafluoroethylene film affected by electron radiation and temperatures	35
<i>Sh. N. Kubekova, V.I. Kapralova, A.S. Raimbekova, I.U. Motovilov, G.T. Ibrahimova, N.A. Ihsan, V.E. Kuznetsov</i> Investigation of possibility of manganese ore concentration wastes involvement in inorganic materials production	46
<i>T.K. Jumadilov, M.T. Suleimenova, J.V. Gražulevicius</i> Electrochemical and conformational properties of polyacrylic acid and poly-2-methyl-5-vinylpyridine hydrogels during their remote interaction in aqueous environment	57
<i>R. Sarsembekova, P. Pourafshary, A. Sharipova, M. Issakhov, A. Issayeva, D. Argimbayev</i> Investigation of the influence of nanoparticle composites on oil displacement efficiency	66
<i>K.A. Sadykov, N.A. Bektenov, T.K. Chalov, N.S. Chinibayeva, Zhusipbekova, A.K. Baidullayeva</i> Synthesis of new ion-exchange sorbents on an organomineral basis	77
<i>R.M. Kudaibergenova, E.A. Baibazarova, Zh.B. Khamzina</i> Synthesis and characterization of NiFe ₂ O ₄ spinel nanoparticles	87
<i>L.K. Kudreyeva, M.B. Abu, A.M. Sarsenbayeva, D.Kh. Kamysbayev, K.A. Issabekova</i> Electrochemical properties of molybdenum in an aqueous solution of dimethylsulphoxide	95
<i>Zh.N. Uvaniskanova, G.A. Seitimova, G.Sh. Burasheva, M.I. Choudhary</i> The amino- and fatty acid composition of seeds <i>canavalia ensiformis</i> (L.) DC	103
<i>A.I. Degert, A.N. Dyuryagina, Y.S. Byzova, G.B. Aubakirova, A.A. Lutsenko</i> Interphase processes in modified bitumen systems	113
<i>K.Zh. Dyussenbiyeva, A. Burkitbay</i> Creation of flame retardant compositions for polyester and cotton-polyester textile materials	123
<i>Y.A. Zholdas, A.B. Kairova, A.B. Kuznetsov, A.M. Bakhadur, M.I. Rakhmanova, A.K. Bolatov, K.A. Kokh</i> Synthesis and study of luminescent characteristics of GaBO ₃ : Yb ³⁺	132

Правила оформления статей в журнале
«ХИМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА»

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Журнал «Химический журнал Казахстана» (ISSN 1813-1107, eISSN 2710-1185) выпускается ордена Трудового Красного Знамени АО «Институтом химических наук им. А.Б. Бектурова» 4 раза в год и публикует работы по широкому кругу фундаментальных, прикладных и инновационных исследований в области химии и химической технологии.

Языки публикации: казахский, русский, английский. Журнал индексируется Казахстанской библиометрической системой и включен в Перечень изданий, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан для публикации основных результатов научной деятельности.

Издание имеет следующие рубрики:

1. Обзорные статьи до 20 печатных страниц
2. Оригинальные статьи (до 8–10 печатных страниц)
3. Краткие сообщения (до 4–5 печатных страниц)

2. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СТАТЕЙ

Редакция принимает статьи от казахстанских и зарубежных авторов. В целях популяризации Журнала, редакционной коллегией приветствуется прием статей на английском языке.

Для регистрации и публикации статьи материал статьи представляется в редакцию через систему электронной подачи статьи на сайте Журнала (<https://www.chemjournal.kz/>) в комплекте со следующими документами:

1. Электронная версия статьи в форматах Word и PDF со встроеными в текст таблицами, схемами, рисунками (файл должен быть назван по фамилии первого автора на английском языке).

2. Сопроводительное письмо, адресованное в Редакцию Химического журнала Казахстана от организации, в которой данное исследование выполнено, с утверждением, что материал рукописи нигде не публиковался, не находится на рассмотрении для опубликования в других журналах и в материалах статьи отсутствуют секретные данные. В сопроводительном письме указываются сведения об авторе для корреспонденции: Фамилия, имя и отчество автора, служебный адрес с указанием почтового индекса, адрес электронной почты, телефон и ORCID.

3. Все статьи, опубликованные в Химическом журнале Казахстана (ISSN 1813-1107, eISSN 2710-1185) публикуются в открытом доступе. Чтобы обеспечить свободный доступ читателям и покрыть расходы на экспертную оценку, редактирование, поддержание сайта журнала, долгосрочное архивирование и ведение журнала, взимается плата за обработку статьи. Правила оплаты за опубликование принятой к печати статьи находятся в отдельном документе на сайте Журнала «Оплата за опубликование».

4. Статье присваивается регистрационный номер, который сообщается авторам в течение недели после получения указанного перечня документов; на этот номер необходимо ссылаться при переписке.

5. Принятым к печати статьям присваивается цифровой идентификатор (DigitalObjectIdentifier – DOI).

6. Учитывая невозможность проводить статьи на казахском языке через систему антиплагиат, будут учитываться формулировки рецензентов и решение издательской коллегии.

7. Статьи должны быть оформлены согласно шаблону, который можно скачать в разделе «Отправка материалов» на сайте Химического Журнала Казахстана.

3. СТРУКТУРА ПУБЛИКАЦИЙ

3.1. В начале **обзоров, оригинальных статей и кратких сообщений** на первой строке указывается номер по Универсальной десятичной классификации (УДК или UDC), соответствующий заявленной теме. Дается прописными буквами в верхнем левом углу. Также на первой строке справа прописными буквами полужирным шрифтом № 14 указывается название журнала **ХИМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА (ҚАЗАҚСТАННЫҢ ХИМИЯ ЖУРНАЛЫ, CHEMICAL JOURNAL OF KAZAKHSTAN)**, год, номер.

3.2. Далее через строку приводится международный стандартный серийный номер журнала (ISSN 1813-1107, eISSN 2710-1185) и на следующей строке слева приводится DOI: который будет иметь значение после принятия статьи к печати.

3.3. Далее, после отступа строки указывается **заглавие статьи** прописными буквами, шрифт № 14 – полужирный, выравнивание текста по центру. Название должно максимально полно и точно описывать содержание статьи, включать ключевые слова, отражающие направление и/или основной результат исследования, но в то же время быть коротким и ясным и не содержать сокращений.

3.4. Далее, после отступа строки, указываются **инициалы и фамилии автора(-ов)** строчными буквами, шрифт № 12 полужирный, курсив, выравнивание текста по центру. Фамилия автора, с которым следует вести переписку, должна быть отмечена звездочкой (*): *С.С. Сатаева**, *А.М. Джубаналиева*.

3.5. Через строку шрифтом № 12, строчными буквами, курсивом с выравниванием текста по центру следуют **наименование(я) организации(й)** с указанием части названия организации, которая относится к понятию юридического лица (в английском тексте необходимо указывать официально принятый перевод названия), город, страна. В английском варианте адресные сведения должны быть представлены на английском языке, в т.ч. город и страна.

Строки с фамилиями авторов и названиями организаций содержат надстрочные индексы (после фамилии и перед названием организации), указывающие на место работы авторов.

На следующей строке курсивным начертанием, шрифт № 12, с выравниванием текста по центру указывается электронный адрес для переписки.

3.6. **Резюме (Abstract, Түйіндеме)** состоит из краткого текста (не менее 150–250 слов, шрифт № 12) на языке статьи. **Abstract** публикуется в международных базах, данных в отрыве от основного текста. Резюме должно быть автономным, все вводимые обозначения и сокращения необходимо расшифровать здесь же.

Приветствуется структурированное резюме, повторяющее структуру статьи и включающее: *введение, цели и задачи, методы, результаты и обсуждение, заключение (выводы)*. В то же время, цели и задачи описываются, если они не ясны из заглавия статьи, методы следует описывать, если они отличаются новизной. В резюме включаются новые результаты, имеющие долгосрочное значение, важные

открытия, опровергающие существующие теории, а также данные, имеющие практическое значение. Следует использовать техническую (специальную) терминологию вашей дисциплины.

Резюме дается без абзацного отступа строчными буквами; оно не должно содержать номера соединений, экспериментальные данные и ссылки на литературу.

Резюме только одно – в начале текста.

3.7. Далее на языке статьи без абзацного отступа строчными буквами шрифтом № 12, выравнивание текста по левому краю приводятся **ключевые слова** (от 5 до 10 шт.), обеспечивающие наиболее полное раскрытие содержания статьи.

3.8. В **кратких сообщениях** приводится резюме (150–200 слов), ключевые слова, но деления на разделы не требуется. Дается текст краткого сообщения на одном из трех языков с выполнением требований к УДК, названию статьи, перечню авторов, наименований организаций, в которых они работают, указанию автора для переписки. В тексте краткого сообщения приводятся конкретные **существенно новые результаты, требующие закрепления приоритета** с необходимыми экспериментальными подробностями. Затем следуют: информация о финансировании, благодарности, сведения о конфликте интересов, информация об авторах и список литературы.

3.9. Статья начинается с **введения**, в котором формулируется цель и необходимость проведения исследования, кратко освещается состояние вопроса со ссылками на наиболее значимые публикации с избеганием ссылок на устаревшие результаты. Излагаются открытия, сделанные в ходе данного исследования. Указывается структура статьи.

3.10. **Экспериментальная часть** содержит описание хода и результатов эксперимента, характеристику полученных соединений. В начале экспериментальной части приводятся названия приборов, на которых зарегистрированы физико-химические характеристики веществ и указываются условия измерения; также указываются либо источники использованных нетривиальных реагентов (например, «коммерческие препараты, название фирмы»), либо даются ссылки на методики их получения.

Каждый параграф экспериментальной части, описывающий получение конкретного соединения, должен содержать его полное наименование по номенклатуре ИЮПАК и его порядковый номер в статье. В методиках обязательно указывать количества реагентов в мольных и массовых единицах (для катализаторов – массу и мольные проценты), объемы растворителей. Методика эксперимента излагается в *прошедшем* времени.

Для известных веществ, синтезированных опубликованным ранее методом, необходимо привести ссылку на литературные данные. Для известных веществ, полученных новыми или модифицированными методами, должны быть представлены их физические и спектральные характеристики, использованные для подтверждения идентичности структуры, метод синтеза и ссылка на литературные данные.

Для всех впервые синтезированных соединений необходимо привести доказательства приписываемого им строения и данные, позволяющие судить об их индивидуальности и степени чистоты. В частности, должны быть представлены данные элементного анализа или масс-спектры высокого разрешения, ИК спектры и спектры ЯМР ^1H и ^{13}C .

Данные рентгеноструктурного анализа представляются в виде **рисунков и таблиц**. Все **новые соединения**, данные PCA которых приводятся в статье, должны быть **зарегистрированы в Кембриджской базе структурных данных** и иметь соответствующие **CCDC номера**.

Если, по мнению рецензента или редактора, новые соединения не были удовлетворительно охарактеризованы, статья не будет принята к печати.

Пример методики: 3-(2-Amino-6-methylpyridino)-3-carbonyl-3,4-dihydrocoumarin (**12**). To the alcoholic solution of 2.18 g (0.01 mol) of 3-carbethoxycoumarin, 1.08 g (0.01 mol) of 2-amino-6-methylpyridine was added with stirring. The mixture was boiled for 10 h. The solution was cooled, the precipitate was filtered. Then it was washed with cold EtOH. After the drying and recrystallization of the residue from i-PrOH yield of the product **12** was 2.05 g (63%), mp 226–228 °C, Rf 0.82 (1/2, EtOAc/hexane as eluent). Calculated, %: C 68.56; H 4.32; N 9.99 for C₁₆H₁₂N₂O₃. Found, %: C 68.41; H 4.22; N 9.83. *Spectral data*.

Внимание! В статьях, посвященных синтезу новых соединений, допускается размещение **экспериментальной части** за разделом **Результаты и обсуждение**.

3.11. В разделе **Результаты и обсуждение**, который является наиболее важным, следует обсудить и объяснить полученные в работе **результаты**, проанализировать особенности синтеза, продемонстрировать и указать возможные ограничения. Провести сравнение полученных результатов с опубликованными ранее. Все новые соединения должны быть полностью охарактеризованы соответствующими спектральными и другими физико-химическими данными. В тексте обобщаются и разъясняются только те спектральные данные, которые используются для подтверждения структуры полученных соединений. Перечисление одних и тех же данных в тексте, таблицах и на рисунках не допускается. Для новых методов синтеза желательно обсудить механизм реакции. Для обобщения данных необходимо использовать понятные рисунки и таблицы. Представленные данные должны поддаваться интерпретации.

При обсуждении результатов следует придерживаться официальной терминологии IUPAC. Результаты рекомендуется излагать в прошедшем времени.

Обсуждение не должно повторять описание результатов исследования. В тексте должны быть использованы общепринятые в научной литературе сокращения. Нестандартные сокращения должны быть расшифрованы после первого появления в тексте. Единицы измерений должны быть указаны в Международной системе СИ.

3.12. Затем рекомендуется сформулировать **закключение**, в котором указать основные достижения, представленные в статье, и основной вывод, содержащий ответ на вопрос, поставленный во вводной части статьи, а также возможность использования материала статьи в фундаментальных или прикладных исследованиях.

3.13. Приводится информация о **финансировании** исследований.

3.14. Выражается **благодарность** тем, кто помог вам в подготовке вашей работы.

3.15. В рукописи должно быть заявлено о том, имеется ли **конфликт интересов**

3.16. В **информации об авторах** указываются: ученая степень, звание, должность, e-mail, ORCID.

3.17. Статя заканчивается **списком литературы** со ссылками на русском (или казахском) языке и ссылками на языке оригинала. Ссылки на литературные источники в тексте приводятся порядковыми арабскими цифрами в квадратных скобках по мере упоминания. Каждая ссылка должна содержать только одну литературную цитату. Список литературы должен быть представлен наиболее свежими и актуальными источниками без излишнего самоцитирования (не более 20 процентов). Для статей желателен список из не менее 10 ссылок со строками доступа в интернете.

3.18. Обязательна **информация об авторах**. В ней указываются: ученая степень, звание, должность, e-mail, ORCID, **фамилия, имя, отчество** полностью на трех языках.

Информация об авторах:

Джусипбеков Умирзак Жумасилович – АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова», заведующий лабораторией химии солей и удобрений, член-корреспондент Национальной академии наук Республики Казахстан, профессор; e-mail: jussipbekov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2354-9878>.

Нургалиева Гульзипа Орынтаевна – доктор химических наук, АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова», Алматы, Республика Казахстан, e-mail: n_gulzipa@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2659-3361>.

Баяхметова Замира Кенесбековна – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова», Алматы, Республика Казахстан, e-mail: zimirabkz@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7261-2215>.

Information about authors:

Zhusipbekov Umerzak Zhumasilovich – JSC «A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences», Head of the Laboratory of Chemistry of Salts and Fertilizers, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Professor; e-mail: jussipbekov@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2354-9878>.

Nurgaliyeva Gulzipa Oryntayevna – Doctor of chemical sciences, JSC «A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences», Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: n_gulzipa@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2659-3361>.

Baiakhmetova Zamira Kenesbekovna – Candidate of chemical sciences, leading researcher, JSC «A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences», Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: zimirabkz@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7261-2215>.

Авторлар туралы ақпарат:

Жүсіпбеков Өмірзақ Жұмасылұлы - "Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты" АҚ, тұздар және тыңайтқыштар химиясы зертханасының меңгерушісі, Қазақстан Республикасы Ұлттық Ғылым академиясының корреспондент-мүшесі, профессор; e-mail: jussipbekov@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2354-9878>.

Нұрғалиева Гүлзипа Орынтайқызы - химия ғылымдарының докторы, "Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты" АҚ, Алматы, Қазақстан Республикасы, e-mail: n_gulzipa@mail.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2659-3361>.

Баяхметова Замира Кенесбекқызы - химия ғылымдарының кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер, "Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты" АҚ,

Алматы, Қазақстан Республикасы, e-mail: zamirabkz@mail.ru . ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7261-2215>.

Список цитируемой литературы оформляется в соответствии с нижеприведенными образцами библиографических описаний (4.8.).

3.19. В конце статьи после списка литературы *дополнительно* приводится перевод **Резюме** на казахский (**Түйіндеме**) и на английский языки (**Abstract**). Слово **Резюме (Abstract, Түйіндеме)** дается по центру. На следующей строке с выравниванием по левому краю прописными буквами полужирным шрифтом № 12 приводится название статьи. Через строку без абзацного отступа курсивом, полужирным шрифтом № 11 даются инициалы и фамилии авторов.

На следующей строке без абзацного отступа курсивом, строчными буквами, шрифтом № 11 приводятся места работы авторов с надстрочными индексами (после фамилии и перед названием организации), указывающие на место работы авторов. Затем через строку с абзацного отступа с выравниванием текста по ширине идет текст резюме, набранный строчным шрифтом № 12.

Далее через строку с абзацным отступом строчными буквами шрифтом № 12, с выравниванием текста по ширине приводятся **ключевые слова** (от 5 до 10 шт.), обеспечивающие наиболее полное раскрытие содержания статьи.

3.20. Для статей, подаваемых на языке, отличном от английского (на казахском или русском языке), в конце статьи находится английский блок (**Abstract, Information about authors, References**).

3.21. Все страницы рукописи следует пронумеровать.

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РУКОПИСЕЙ

4.1. Объем статьи, включая аннотацию и список литературы: до 8–10 страниц. Обзорные статьи могут быть до 20 страниц. Статья должна быть напечатана на одной стороне листа А4 шрифтом Times New Roman, размер кегля 14 пт; межстрочный интервал – одинарный и полями: верхнее – 2.0 см, нижнее – 2.0 см, левое – 3.0 см, правое – 1.5 см; расстановка переносов не допускается; абзацный отступ – 1.0 см; форматирование – по ширине. Должен быть использован текстовый редактор *Microsoft Word for Windows*, в виде *doc*-файла, версия 7.0 и более поздние.

Для краткости и наглядности обсуждения соединения, упоминаемые более одного раза, следует нумеровать **арабскими** цифрами в сочетании со строчными **латинскими** буквами (для обозначения соединений с переменным заместителем). При упоминании полного названия соединения шифр дается в скобках.

Стереохимические символы и приставки, характеризующие структурные особенности или положение заместителя в молекуле, следует набирать курсивом (*italic*): (*R*)-энантиомер, *трет*-бутил, *пара*-ксилол. Вместо громоздких названий неорганических и часто употребляемых органических соединений следует давать их формулы: NaBr, TsOH вместо бромид натрия и толуолсульфоновая кислота. При использовании терминов и обозначений, не имеющих широкого применения в литературе, их значения поясняются в тексте при первом употреблении: например, полиэтилентерефталат (ПЭТФ).

Для изображения структурных формул химических соединений необходимо использовать редактор химических формул **ChemDrawUltra**. Все надписи на схемах приводятся на английском языке. В схеме необходимо указывать все условия реакций: над стрелкой – реагенты, катализаторы, растворители, под

стрелкой – температура, время, выход. Если условия реакций сильно загружают схему, их можно перенести в конец схемы, расшифровывая буквенными индексами, например, i : HCl , H_2O , $80\text{ }^\circ\text{C}$, 5h . Такой же буквенный индекс должен быть указан над стрелкой соответствующей реакции.

4.2. Уравнения, схемы, таблицы, рисунки и ссылки на литературу нумеруются в порядке их упоминания в тексте и *должны быть вставлены в текст статьи* после первого упоминания. Таблицы и рисунки должны сопровождаться подписью; заголовки к схемам даются при необходимости.

4.3. По возможности следует готовить **рисунки** с помощью компьютера. Однотипные кривые должны быть выполнены в одинаковом масштабе на одном рисунке. Кривые на рисунках нумеруются арабскими цифрами, которые расшифровываются в подписях к рисункам. Для всех **рисунков** необходимо представить графические файлы в формате *jpeg* с минимальным разрешением 300 dpi. Надписи на рисунках должны быть на английском языке и по возможности заменены цифрами, расшифровка которых дается в подписи к рисунку.

Одиночные прямые, как правило, не приводят, а заменяют уравнением линии регрессии. Пересечение осей координат следует располагать в левом углу рисунка, стрелки на концах осей не ставятся, линии, ограничивающие поле рисунка не приводятся, масштабная сетка не наносится. Малоинформативные рисунки, не обсуждаемые в статье спектры, вольтамперограммы и другие зависимости не публикуются. **Рисунки спектров не должны быть выполнены от руки**. Все рисунки должны иметь нумерацию арабскими цифрами (если рисунок не один). Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных и располагают следующим образом: Рисунок 1 – Детали прибора.

4.4. Каждая **таблица** должна иметь тематический заголовок и порядковый арабский номер (без знака №), на который дается ссылка в тексте (таблица 1). Название таблицы располагается над таблицей слева без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире без точки после названия. Графы в таблице должны иметь краткие заголовки, отражающие параметры, численные значения которых приведены в таблице; они пишутся в именительном падеже единственного числа с прописной буквы и через запятую сопровождаются соответствующими единицами измерения (в сокращенной форме). Рисунки или структурные формулы в графах таблиц не допускаются. Пропуски в графах при отсутствии данных обозначают тремя точками, при отсутствии явления – знаком «тире». Примечания к таблицам индексируются арабскими цифрами и помещаются в границах таблицы под материалом таблицы. Слово «Примечание» следует печатать с прописной буквы с абзаца. Если примечание одно, то после слова «Примечание» ставится тире и примечание печатается с прописной буквы. Несколько примечаний нумеруют по порядку арабскими цифрами без проставления точки и печатают с абзаца. В таблицах используют тот же шрифт, что и в тексте статьи; допускается уменьшенный (не менее № 10 шрифт TimesNewRoman).

4.5. При выборе единиц измерения рекомендуется придерживаться системы СИ: г, мг, м, см, мкм (микромметр, микрон); нм (наномметр, миллимикрон); пм (пикомметр); Э (ангстрем); с (секунда); мин, ч (час), Гц (герц); МГц (мегагерц); Э (эрстед); Гс (гаусс); В (вольт); эВ (электронвольт); А (ампер); Ом, Па (паскаль); МПа (мегапаскаль); гПа (гектопаскаль); Дж (джоуль); К (кельвин), $^\circ\text{C}$ (градус Цельсия); Д (Дебай).

В десятичных дробях целая часть отделяется от дробной не запятой, а точкой.

Используются следующие сокращения: т.кип. и т.пл. (точки кипения и плавления) – перед цифрами; конц. (концентрированный перед формулой соединения); М – молекулярная масса); моль, кал, ккал, н. (нормальный), М. (молярный); концентрация растворов обозначается (г/см³, г/л, моль/л).

Для всех впервые синтезированных соединений обязательны данные элементного анализа либо масс-спектры высокого разрешения.

В *брутто-формулах* элементы располагаются в следующем порядке: С, Н и далее согласно латинскому алфавиту. Формулы молекулярных соединений и ониевых солей даются через точку (например, С₅Н₅Н.НCl). Пример записи констант и данных элементного анализа: т.кип. 78°C (100 мм рт. ст.), т.пл. 50°C (EtOH), d₄²⁰0.9809, n²⁰1.5256; Найдено, %: С 59.06; Н 7.05; I 21.00; N 8.01. С_aН_bI_cН_dО_e. Вычислено, %: С 59.02; Н 7.01; I 21.20; N 8.22.

ИК и УФ спектры. В экспериментальной части для ИК и УФ спектров должны быть указаны характеристические частоты полос, длины волн максимумов поглощения, коэффициенты экстинкции (или их логарифмы) и условия, при которых записан спектр.

Примеры записи: ИК спектр (тонкий слой), ν , см⁻¹: 1650 (C=N), 3200–3440 (O–H). УФ спектр (EtOH), λ_{\max} , нм (lg ϵ): 242 (4.55), 380 (4.22).

Спектры ЯМР ¹H и ¹³C. Должны быть указаны рабочая частота прибора, использованный стандарт и растворитель. Протоны в составе сложных групп, к которым относится сигнал, следует подчеркнуть снизу – 3.17–3.55 (4H, м, N(CH₂CH₃)₂); для положения заместителей использовать обозначения 3-CH₃; для обозначения положения атомов – C-3, N-4 и т.д. Если какой-нибудь сигнал в спектре описывается как дублет, триплет или дублет дублетов и т.п. (а не синглет или мультиплет), необходимо привести соответствующие КССВ. Если проведены дополнительные исследования для установления строения или пространственных взаимодействий атомов, должны быть указаны использованные двумерные методы. В описании спектров ЯМР ¹³C отнесение конкретного сигнала к конкретному атому углерода приводится только тогда, когда определение проведено на основе двумерных экспериментов.

Примеры записи:

Спектр ЯМР¹H (400 МГц, CDCl₃), δ , м. д. (J , Гц): 0.97 (3H, т, $J=7.0$, CH₃); 3.91 (2H, к, $J=7.0$, COOCH₂); 4.46 (2H, д, $J=6.1$, NCH₂); 7.10–7.55 (6H, м, H-6,7,8, NHCH₂C₆H₅); 7.80 (1H, с, HAr); 7.97 (1H, с, H-5'); 8.13 (1H, д, $J=8.2$, $J=2.3$, H-5); 11.13 (1H, с, NH).

Спектр ЯМР¹³C (100 МГц, DMSO-*d*₆), δ , м. д. (J , Гц): 36.3 (CH₂CH₃); 48.5 (C-5); 62.3 (CH₂CH₃); 123.0(CAr); 125.8 (д, ² $J_{CF}=26.1$, C-3',5' Ar); 128.9 (CPh); 134.4 (C-5a); 168.3 (C=O).

Масс-спектры приводятся в виде числовых значений m/z и относительных значений ионного тока. Необходимо указывать метод и энергию ионизации, массовые числа характеристических ионов, их интенсивность по отношению к основному иону и по возможности их генезис. В случае химической ионизации при описании прибора необходимо указать газ-реагент. В масс-спектрах высокого разрешения найденные и вычисленные значения m/z приводятся с четырьмя

десятичными знаками; если найденное значение m/z соответствует не молекулярному иону, брутто-формула и вычисленное значение m/z также приводится для того же иона.

Пример записи данных масс-спектра: Масс-спектр (ЭУ, 70 эВ), m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 386 $[M]^+$ (36), 368 $[M-H_2O]^+$ (100), 353 $[M-H_2O-CH_3]^+$ (23).

Масс-спектр (ХИ, 200 эВ), m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 387 $[M+H]^+$ (100), 369 $[M+H-H_2O]^+$ (23).

Пример записи данных масс-спектра высокого разрешения:

Найдено, m/z : 282.1819 $[M+Na]^+$. $C_{17}H_{25}NNaO$.

Вычислено, m/z : 282.1828.

4.6. **Данные рентгеноструктурного исследования** следует предоставлять в виде рисунка молекулы с пронумерованными атомами, например, С(1), N(3) (по возможности в представлении атомов эллипсо и дамиптепловых колебаний). Полные кристаллографические данные, таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов, температурные факторы в журнале не публикуются, а депонируются в Кембриджском банке структурных данных (в статье указывается регистрационный номер депонента).

4.7. По требованиям международных баз данных Scopus, Clarivate Analytics, Springer Nature при оценке публикаций на языках, отличных от английского, библиографические списки должны даваться не только на языке оригинала, но и на латинице (романским алфавитом). Поэтому авторы статей, подаваемых на русском и казахском языке, должны предоставлять список литературы в двух вариантах: *один на языке оригинала (Список литературы)*, а другой — *в романском алфавите (References)*. Последний список входит в английский блок, который расположен в конце статьи.

Если в списке есть ссылки на иностранные публикации, они полностью повторяются в списке **References**. При цитировании русскоязычного журнала, переводимого за рубежом, в русскоязычной версии Списка литературы необходимо привести полную ссылку на русскоязычную версию, а в **References** – на международную.

Список источников в **References** должен быть написан только на романском алфавите- латинице (при этом он должен оставаться полным аналогом Списка литературы, в котором источники были представлены на оригинальном языке опубликования).

Для написания ссылок на русскоязычные источники (и источники на иных, не использующих романский алфавит, языках) следует использовать **ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПЕРЕВОД** и **ТРАНСЛИТЕРАЦИЮ** (см. Требования к переводу и транслитерации).

В **References** требуется следующая структура библиографической ссылки из русскоязычных источников: авторы (транслитерация), перевод названия статьи или книги на английский язык, название источника (транслитерация – для тех изданий, которые не имеют установленного редакцией английского названия), выходные данные в цифровом формате, указание на язык статьи в скобках (in Russian или in Kazakh). Транслитерацию можно выполнить на сайте <http://www.translit.ru>.

Условные сокращения названий русскоязычных журналов и справочников приводятся в соответствии с сокращениями, принятыми в «Реферативном журнале Химия». англоязычных и других иностранных журналов – в соответствии с сокращениями, рекомендуемыми издательством «Springer and Business Media»:

<http://chemister.ru/Chemie/journal-abbreviations.htm>. Для статей на русском и казахском языках название журнала «Химический Журнал Казахстана» следует сокращать: «Хим. Журн. Каз.» и «Каз. Хим. Журн.» соответственно, а для статей на английском языке: «Chem. J. Kaz.». Приводятся фамилии и инициалы **всех авторов** (сокращения и др. и *et al* не допускаются).

В Списке литературы и в **References** все работы перечисляются **В ПОРЯДКЕ ЦИТИРОВАНИЯ**, а **НЕ** в алфавитном порядке.

DOI. Во всех случаях, когда у цитируемого материала есть цифровой идентификатор, его необходимо указывать в самом конце описания источника. Проверять наличие doi у источника следует на сайте <http://search.crossref.org> или <https://www.citethisforme.com>.

Для формирования списка литературы (всех без исключения ссылок) в Журнале принят библиографический стандарт без использования разделителя «//»:

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of article. Title of Journal, **2005**, 10, No. 2, 49–53.

Для казахско- или русскоязычного источника:

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of article. Title of Journal, **2005**, 10, No. 2, 49– 53. (In Kazakh or In Russian).

Ниже приведены образцы оформления различных видов документов, которых необходимо придерживаться авторам при оформлении романского списка **References**.

Описание статьи из журналов:

Zagurenko A.G., Korotovskikh V.A., Kolesnikov A.A., Timinov A.V., Kardymov D.V. Technical and economical optimization of hydrofracturing design. Neftyanoe khozyaistvo. Oil Industry, **2008**, No. 11, 54–57. (In Russian).

Описание статьи с DOI:

Zhang Z., Zhu D. Experimental Research on the localized electrochemical micromachining. *Rus. J. Electrochem.*, **2008**, 44, No. 8, 926–930. doi: 10.1134/S1023193508080077.

Описание Интернет-ресурса:

Kondrat'ev V.B. *Global'naya farmatsevticheskaya promyshlennost'* [The global pharmaceutical industry]. Available at: http://perspektivy.info/rus/ekob/globalnaja_farmacevticheskaja_promyshlennost_2011-07-18.html (Accessed 23.06.2013).

или

APA Style (2011). Available at: <http://www.apastyle.org/apa-style-help.aspx> (accessed 5 February 2011).

или

Pravila Tsitirovaniya Istochnikov (Rules for the Citing of Sources) Available at: <http://www.scribd.com/doc/1034528/> (Accessed 7 February 2011).

Описание статьи из электронного журнала:

Swaminatan V., Lepkoswka-White E., Pao B.P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *Journal of Computer-Mediated Communication*, **1999**, 5, No. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol.5/issue2/> (Accessed 24 April 2011).

Описание статьи из продолжающегося издания (сборника трудов)

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. Eksperimental'noe issledovanie prochnost soedinenii «stal'- kompozit» [Experimental study of the strength of joints «steel-

composite»]. Trudy MGTU
«*Matematicheskoe modelirovanie slozhnykh tekhnicheskikh sistem*» [Proc. Of the
Bauman MSTU
«Mathematic Modeling of the Complex Technical Systems»], **2006**, No. 593, 125–130.

Описание материалов конференций:

Usmanov T.S., Gusmanov A.A., Mullagalin I.Z., Muhametshina R.Ju., Chervyakova A.N., Sveshnikov A.V. Features of the design of the field development with the use of hydraulic fracturing. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma «Novye resurso sberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi»* [Proc. 6th Int. Symp. «New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact»]. Moscow, **2007**, 267–272. (In Russ.)

Нежелательно оставлять одно переводное название конференции (в случае если нет переведенного на английский язык названия конференции), так как оно при попытке кем-либо найти эти материалы, идентифицируется с большим трудом.

Описание книги (монографии, сборника):

Nenashev M.F. *Poslednee pravitel'stvo SSSR* [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., **1993**, 221 p.

Описание переводной книги:

Timoshenko S.P., Young D.H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. *Kolebaniia v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., **1985**. 472 p.).

Brooking A., Jones P., Cox F. *Expert systems. Principles and cases studies*. Chapman and Hall, 1984. 231 p. (Russ. ed.: Bruking A., Dzhons P., Koks F. *Ekspertnye sistemy. Printsipy raboty i primery*. Moscow, Radioisviaz' Publ., **1987**. 224 p.).

Описание диссертации или автореферата диссертации:

Grigor'ev Yu. A. *Razrabotka nauchnykh osnov proektirovaniia arkhitektury raspredelennykh sistem obrabotki dannykh. Diss. Dokt. Tekhn. Nauk* [Development of scientific bases of architectural design of distributed data processing systems. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, Bauman MSTU Publ., **1996**. 243 p.

Описание ГОСТа:

GOST 8.596.5–2005. *Metodika vpolneniia izmerenii. Izmerenie raskhoda I kolichestva zhidkosti I gazov s pomoshch'iu standartnykh suzhaiushchikh ustroystv* [State Standard 8.586.5 – 2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. Moscow, Standartinform Publ., **2007**. 10 p.

или

State Standard 8.586.5 – 2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., **2007**. 10 p. (In Russian).

Описание патента:

Patent RU 228590. *Sposob orientirovaniia po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoi golovkoi samonavedeniia* [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head], Palkin M.V., Ivanov N.M., Gusev B.B., Petrov R.H., **2006**.

4.9. Пример англоязычного блока для представления статьи, написанной на языке, отличном от английского:

Abstract

DETERMINATION OF THE HAZARD CLASS OF OIL-CONTAMINATED AND NEUTRALIZED SOIL

Zhusipbekov U.Zh.¹, Nurgaliyeva G.O.^{1}, Baiakhmetova Z.K.¹, Aizvert L.G.²*

¹JSC «A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences», Almaty, Kazakhstan

²Scientific and practical center of sanitary-epidemiological examination and monitoring of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan Almaty, Kazakhstan

E-mail: n_gulzipa@mail.ru

Introduction. Pollution by oil has a negative effect on chemical, physical, agrophysical, agrochemical and biological properties of soils. Sorption methods of cleaning the soil with the help of humic preparations from oil pollution are of great importance. *The purpose* of this work is to study the composition and properties of the contaminated and neutralized soil, the determination of the toxicity indexes of all components of oil waste, the calculation of the hazard class of waste according to their toxic-ecological parameters. *Methodology.* Samples of the contaminated and neutralized soil were treated with the use of humate-based energy-accumulating substances. The metal content in the contaminated soil was determined by spectrometry using an AA 240 instrument using the method of decomposing the sample with a mixture of nitric, hydrofluoric and perchloric acids until the sample was completely opened. *Results and discussion.* Fractional composition of oil products of all samples is stable: the content of complex acetylene hydrocarbons is ~ 70.0% of the total mass of oil products, the content of resins and paraffin-naphthenic group of hydrocarbons is 27.3%, the content of bitumens is 2.6%. In the neutralized soil, paraffin-naphthenic fractions, resins, bitumens and asphaltenes were mainly found; complex acetylene hydrocarbons are not present. *Conclusion.* It has been established that the contaminated soil belongs to the substances of the 3rd hazard class. Neutralized soil became less toxic and according to the total toxicity index, it was classified as hazard class 4 (low hazard). Neutralized soil can be used as construction and road materials, at the improvement of boreholes and at land reclamation.

Keywords: oil, contaminated soil, neutralized soil, humate-based energy storage substance, toxicity, radioactivity, hazard class.

References

1. Evdokimova G.A., Gershenkop A.Sh., Mozgova N.P., Myazin V.A., Fokina N.V. Soils and waste water purification from oil products using combined methods under the North conditions. *J. Environ. Sci.*, **2012**, 47, No. 12, 1733–1738, <https://doi.org/10.1080/10934529.2012.689188>
2. Badrul I. Petroleum sludge, its treatment and disposal: a review. *Int. J. Chem. Sci.*, **2015**, 13, No. 4, 1584–1602. <https://www.tsijournals.com/articles/petroleum-sludge-its-treatment-and-disposal-a-review.pdf> (accessed on 2 April 2021).
3. Krzhizh L., Reznik D. Technology of cleaning the geological environment from oil pollution. *Jekologija proizvodstva*, **2007**, No. 10, 54. (in Russ.). https://www.ripublication.com/ijaer18/ijaer13n7_44.pdf (accessed on 2 April 2021).

4. Nocentini M., Pinelli D., Fava F. Bioremediation of soil contaminated by hydrocarbon mixtures: the residual concentration problem. *Chemosphere*, **2000**, No. 41, 1115–1123, [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(00\)00057-6](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(00)00057-6)
5. Cerqueira V.S., Peralba M.C.R., Camargo F.A.O., Bento F.M. Comparison of bioremediation strategies for soil impacted with petrochemical oily sludge. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **2014**, 95, 338–345, <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.08.015>
54. Zemnuhova L.A., Shkorina E.D., Filippova I.A. The study of the sorption properties of rice husk and buckwheat in relation to petroleum products. *Himija rastitel'nogo syr'ja*, **2005**, No. 2, 51–(in Russ.). <http://journal.asu.ru/cw/article/view/1659> (accessed on 2 April 2021).
8. Mokrousova M.A., Glushankova I.S. Remediation of drill cuttings and oil-contaminated soils using humic preparations. *Transport. Transportnye Sooruzhenija. Jekologija*, **2015**, No. 2, 57–72. (in Russ.). <https://www.dissercat.com/content/razrabotka-nauchnykh-osnov-primeneniya-guminovykh-veshchestv-dlya-likvidatsii-posledstvii> (accessed on 2 April 2021).
9. Teas Ch., Kalligeros S., Zankos F., Stournas S. Investigation of the effectiveness of absorbent materials in oil spill clean up. *Desalination*, **2001**, No. 140, 259–264. <http://www.desline.com/proceedings/140.shtml> (accessed on 2 April 2021).
10. Ivanov A.A., Judina N.V., Mal'ceva E. V., Matis E.Ja. Investigation of the biostimulating and detoxifying properties of humic acids of different origin under conditions of oil-contaminated soil. *Himija rastitel'nogo syr'ja*, **2007**, No. 1, 99–103. (in Russ.). <http://journal.asu.ru/cw/issue/view/6> (accessed on 2 April 2021).
11. Dzhusipbekov U.Zh., Nurgalieva G.O., Kuttumbetov M.A., Zhumasil E., Dujsenbaj D., Sulejmenova O.Ja. Pilot-industrial tests of the processing of oil-contaminated soil. *Chem. J. Kazakhstan*, **2015**, No. 3, 234–240. <http://www.chemjournal.kz/images/pdf/2019/01/2019-1-2.pdf> (accessed on 2 April 2021).
12. Patent RU 2486166. *Sposob obezvrezhivaniya neftezagrjaznennyh gruntov, sposob obezvrezhivaniya otrabotannyh burovyyh shlamov* [The method of disposal of oil-contaminated soils, the method of disposal of waste drill cuttings]. Kumi V.V., **2013**. <http://www.freepatent.ru/patents/2491266> (accessed on 2 April 2021).
13. Kozlova, E.N., Stepanov, A.L. & Lysak, L.V. The influence of bacterial-humic preparations on the biological activity of soils polluted with oil products and heavy metals. *Eurasian Soil Sc.*, **2015**, 48, 400–409. <https://doi.org/10.1134/S1064229315020052>.

Ғылыми жарияланымның этикасы

«Қазақстанның химиялық журналы» (бұдан әрі – Журнал) баспасының алқасы мен бас редакторы «Жариялану этикасы жөніндегі комитет – (Committee on Publication Ethics – COPE)» (<http://publicationethics.org/about>), «Еуропалық ғылыми редакторлардың қауымдастығы» (European Association of Science Editors – EASE) (<http://www.ease.org.uk>) және Ғылыми жарияланым этикасының комитетінде (<http://publicet.org/code/>) қабылданылған халықаралық талаптарды ұстанады.

Баспа қызметіндегі әдепке сай емес іс - әрекеттерді (плагиат, жалған ақпарат және т.б.) болдырмауға және ғылыми жарияланымдардың жоғары сапасын қамтамасыз ету үшін, қол жеткізген ғылыми нәтижелерді жұртшылыққа жариялау мақсатында редакция алқасы, авторлар, рецензенттер, сондай-ақ баспа үдерісіне қатысатын мекемелер этикалық нормалар мен ережелерді сақтауға міндетті және олардың бұзылмауына барлық шараларды пайдалануы тиіс. Осы үдеріске қатысушылардың барлығының ғылыми жарияланымдар этикасының ережелерін сақтауы, авторлардың зияткерлік меншік объектілеріне құқықтарын қамтамасыз етуге, жарияланымдар сапасын арттыруға және авторлық құқықпен қорғалған материалдарды жеке тұлғалардың мүддесі үшін пайдалану мүмкіндігін жоюға көмектеседі.

Редакцияға жіберілген барлық ғылыми мақалалар міндетті түрде екі жақты құпия сараптамаға жіберіледі. Журналдың редакциялық алқасы мақаланың журнал тақырыбына және талаптарына сәйкестігін анықтайды, журналға тіркеу үшін оны алдын ала саралауға журналдың жауапты хатшысына жібереді. Ол қолжазбаның ғылыми құндылығын анықтап, мақала тақырыбына жақын ғылыми мамандықтары бар екі тәуелсіз сарапшыны анықтайды. Мақалаларды редакциялық алқа және редакциялық алқа мүшелері, сондай-ақ басқа елдерден шақырылған рецензенттер сараптайды. Мақаланы сараптау үшін рецензенттерді таңдау туралы шешімді бас редактор қабылдайды. Сараптау мерзімі 2-4 апта және рецензент өтініші бойынша оны 2 аптаға ұзартуға болады.

Редакция мен рецензент қарауға жіберілген жарияланбаған материалдардың құпиялығына кепілдік береді. Жариялау туралы шешім журналдың редакциялық алқасы тексергеннен кейін қабылданады. Қажет болған жағдайда (редактор(лар) және/немесе рецензент(лер) тарапынан ескертулердің болуы) қолжазба авторларға қосымша түзетулерге жіберіледі, содан кейін ол қайта қаралады. Этика нормалары бұзылған жағдайда, мақаланы жариялаудан бас тарту құқығын Редакция өзіне қалдырады. Жауапты редактор мақалада плагиат деп есептеуге жеткілікті ақпарат болған жағдайда оны жариялауға рұқсат бермейді.

Авторлар редакцияға жіберілген материалдардың жаңа, бұрын жарияланбаған және түпнұсқа екендігіне кепілдік береді. Авторлар ғылыми нәтижелердің сенімділігі мен маңыздылығына, сондай-ақ ғылыми этика қағидаттарының сақталуына, атап айтқанда, ғылыми этиканы бұзылмауына (ғылыми деректерді қолдан жасау, зерттеу деректерін бұрмалауға әкелетін бұрмалау, плагиат және жалған бірлескен авторлық, қайталау, басқа адамдардың нәтижелерін иемдену және т.б.) тікелей жауапты.

Мақаланы редакцияға беру авторлардың мақаланы (түпнұсқада немесе басқа тілдерге немесе тілден аудармада) басқа журналға(ларға) жібермегенін және бұл материалдың бұрын жарияланбағанын білдіреді. Олай болмаған жағдайда мақала

авторларға «Авторлық құқықты бұзғаны үшін мақаланы жарияламау» деген шешіммен қайтарылады. Басқа автордың туындысының 10 пайыздан астамын, оның авторлығын және дереккөзге сілтемелерді көрсетпей сөзбе-сөз көшіруге жол берілмейді. Алынған үзінділер немесе мәлімдемелер автор мен дереккөзді міндетті түрде көрсете отырып ресімделуі керек. Шамадан тыс өзге материалдарды пайдалану, сондай-ақ кез келген нысандағы плагиат, соның ішінде дәйексіз дәйексөздер, басқа адамдардың зерттеулерінің нәтижелерін иемдену этикаға жатпайды және қабылданбайды. Зерттеу барысына қатынасқан барлық тұлғалардың үлесін мойындау қажет және мақалада зерттеуді жүргізуде маңызды болған жұмыстарға сілтемелер берілуі керек. Бірлескен авторлар арасында зерттеуге қатыспаған адамдарды көрсетуге жол берілмейді.

Автор(лар) жұмыстарында қателіктер байқалса, бұл туралы дереу редакторға хабарлап, түзету туралы ұсыныс беруі тиіс.

Қолжазбаны басып шығарудан бас тарту туралы шешім рецензенттердің ұсыныстарын ескере отырып, редакция алқасының отырысында қабылданады. Редакциялық алқаның шешімімен жариялауға ұсынылмаған мақала қайта қарауға қабылданбайды. Жариялаудан бас тарту туралы хабарлама авторға электрондық пошта арқылы жіберіледі.

Журналдың редакциялық алқасы мақаланы жариялауға рұқсат беру туралы шешім қабылдағаннан кейін редакциялық алқа бұл туралы авторға хабарлайды және жариялау шарттарын көрсетеді. Мақалаға берілген пікірлердің түпнұсқасы Журнал редакциясында 3 жыл сақталынады.

Этика научных публикаций

Редакционная коллегия и главный редактор научного журнала «Химический журнал Казахстана» (далее – Журнал) придерживаются принятых международных стандартов «Комитета этики по публикациям» ([Committee on Publication Ethics – COPE](http://publicationethics.org/about)) (<http://publicationethics.org/about>), «Европейской ассоциации научных редакторов» (European Association of Science Editors – EASE) (<http://www.ease.org.uk>) и «Комитета по этике научных публикаций» (<http://publicet.org/code/>).

Во избежание недобросовестной практики в публикационной деятельности (плагиат, изложение недостоверных сведений и др.) и в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, признания общественностью, полученных автором научных результатов, члены редакционного совета, авторы, рецензенты, а также учреждения, участвующие в издательском процессе, обязаны соблюдать этические стандарты, нормы и правила и принимать все меры для предотвращения их нарушений. Соблюдение правил этики научных публикаций всеми участниками этого процесса способствует обеспечению прав авторов на интеллектуальную собственность, повышению качества издания и исключению возможности неправомерного использования авторских материалов в интересах отдельных лиц.

Все научные статьи, поступившие в редакцию, подлежат обязательному двойному слепому рецензированию. Редакция Журнала устанавливает соответствие статьи профилю Журнала, требованиям к оформлению и направляет ее на первое рассмотрение ответственному секретарю Журнала, который определяет научную ценность рукописи и назначает двух независимых рецензентов – специалистов, имеющих наиболее близкие к теме статьи научные специализации. Рецензирование статей осуществляется членами редакционного совета и редакционной коллегии, а также приглашенными рецензентами других стран. Решение о выборе того или иного рецензента для проведения экспертизы статьи принимает главный редактор. Срок рецензирования составляет 2-4 недели, но по просьбе рецензента он может быть продлен, но не более чем на 2 недели.

Редакция и рецензент гарантируют сохранение конфиденциальности неопубликованных материалов присланных на рассмотрение работ. Решение о публикации принимается редакционной коллегией Журнала после рецензирования. В случае необходимости (наличие замечаний редактора(-ов) и /или рецензента(-ов)) рукопись направляется авторам на доработку, после чего она повторно рецензируется. Редакция оставляет за собой право отклонить публикацию статьи в случае нарушения правил этики. Ответственный редактор не должен допускать к публикации информацию, если имеется достаточно оснований полагать, что она является плагиатом.

Авторы гарантируют, что представленные в редакцию материалы являются новыми, ранее неопубликованными и оригинальными. Авторы несут ответственность за достоверность и значимость научных результатов, а также соблюдение принципов научной этики, в частности, недопущение фактов нарушения научной этики (фабрикация научных данных, фальсификация, ведущая к искажению исследовательских данных, плагиат и ложное соавторство, дублирование, присвоение чужих результатов и др.)

Направление статьи в редакцию означает, что авторы не передавали статью (в оригинале или в переводе на другие языки или с других языков) в другой(-ие) журнал(ы) и что этот материал не был ранее опубликован. В противном случае статья немедленно возвращается авторам с формулировкой «Отклонить статью за нарушение авторских прав». Не допускается дословное копирование более 10 процентов работы другого автора без указания его авторства и ссылок на источник. Заимствованные фрагменты или утверждения должны быть оформлены с обязательным указанием автора и первоисточника. Чрезмерные заимствования, а также плагиат в любой форме, включая неоформленные цитаты, перефразирование или присвоение прав на результаты чужих исследований, неэтичны и неприемлемы. Необходимо признавать вклад всех лиц, так или иначе повлиявших на ход исследования, в частности, в статье должны быть представлены ссылки на работы, которые имели значение при проведении исследования. Среди соавторов недопустимо указывать лиц, не участвовавших в исследовании.

Если автором(-ами) обнаружена ошибка в работе, необходимо срочно уведомить редактора и вместе принять решение об исправлении.

Решение об отказе в публикации рукописи принимается на заседании редакционной коллегии с учетом рекомендаций рецензентов. Статья, не рекомендованная решением редакционной коллегии к публикации, к повторному рассмотрению не принимается. Сообщение об отказе в публикации направляется автору по электронной почте.

После принятия редколлекцией Журнала решения о допуске статьи к публикации редакция информирует об этом автора и указывает сроки публикации. Оригиналы рецензий хранятся в редакции Журнала в течение 3 лет.

Scientific Publication Ethics

The Editorial Board and Editor-in-Chief of the scientific journal the “Chemical Journal of Kazakhstan” (hereinafter referred to as the Journal) adhere to the accepted international standards of the “Committee on Publication Ethics” (Committee on Publication Ethics – COPE) (<http://publicationethics.org/about>), the “European Association of Science Editors” (European Association of Science Editors – EASE) (<http://www.ease.org.uk>) and the “Committee on Scientific Publication Ethics” (<http://publicet.org/code/>).

To avoid unfair practices in the publishing activities (plagiarism, false information, etc.) and in order to ensure the high quality of the scientific publications and public recognition of the scientific results, obtained by the author, the members of the Editorial Board, authors, reviewers, as well as institutions, involved in the publishing process, are obliged to comply with ethical standards, rules and regulations, and take all measures to prevent their violation. The compliance with the rules of the scientific publication ethics by all process participants contributes to ensuring the rights of authors to intellectual property, improving the quality of the publication and excluding the possibility of misuse of the copyrighted materials in the interests of the individuals.

All scientific articles submitted to the editors are subject to mandatory double-blind peer reviewing. The Editorial Board of the Journal determines the compliance of the article with the specificity of the Journal, the registration requirements and sends it for the first reviewing to the Executive Secretary of the Journal, who determines the scientific value of the manuscript and appoints two independent reviewers – the specialists with the scientific specializations closest to the topic of the article. The articles are reviewed by the members of the Editorial Board and the Editorial Staff, as well as the invited reviewers from the other countries. The decision to choose one or another reviewer for reviewing the article is made by the Editor-in-Chief. The reviewing period is 2-4 weeks, though at the request of the reviewer, it can be extended, but no more than for 2 weeks.

The editors and the reviewer guarantee the confidentiality of the unpublished materials submitted for reviewing. The decision to publish is made by the Editorial Board of the Journal after reviewing. If necessary (the presence of comments by the editor(s) and/or reviewer(s)) the manuscript is sent to the authors for revision, after which it is re-reviewed. The editors reserve the right to reject from the publication of the article in case of violation of the rules of ethics. The Executive Editor should not allow the information to be published if there is sufficient reason to believe that it is plagiarism.

The authors guarantee that the materials, submitted to the editors are new, previously unpublished and original. The authors are responsible for the reliability and significance of the scientific results, as well as compliance with the principles of scientific ethics, in particular, the prevention of violations of scientific ethics (fabrication of the scientific data, falsification leading to distortion of the research data, plagiarism and false co-authorship, duplication, appropriation of other people's results, etc.).

The submission of an article to the editor means that the authors did not submit the article (in the original or translated into or from the other languages) to the other Journal(s), and that this material was not previously published. Otherwise, the article is immediately returned to the authors with the wording “Reject the article for the copyright infringement.” The word-for-word copying of more than 10 percent of the work of another author is not allowed without indicating his authorship and references to the source. The borrowed fragments or statements should be drawn-up with the obligatory

indication of the author and source. Excessive borrowing, as well as plagiarism in any form, including inaccurate quotations, paraphrasing, or appropriation of the rights to the results of the other people's research, is unethical and unacceptable. It is necessary to recognize the contribution of all persons, who in one way or another influenced the course of the research, in particular, the article should provide links to the works, which were important in the research conduction. Among the co-authors, it is unacceptable to indicate persons, who did not participate in the research.

If the author(s) finds an error in the work, it is necessary to immediately notify the editor thereof, and together decide on the correction.

The decision to refuse from the publication of the manuscript is made at a Meeting of the Editorial Board, taking into account the recommendations of the reviewers. An article, which is not recommended by the decision of the Editorial Board for the publication, is not accepted for re-consideration. A notice of the refusal to publish is sent to the author by e-mail.

After the Editorial Board of the Journal makes a decision on the admission of the article for the publication, the Editorial Board informs the author thereof, and specifies the terms of the publication. The original reviews are kept in the Editorial Office of the Journal for 3 years.

Технический секретарь: *Ж.Б.Узакова*

Подписано в печать 17.12.2024г.
Формат 70x100 ¹/₁₆. 10.31 п.л. Бумага офсетная. Тираж 300.

Типография ИП «Тойходжаев Н.О.»
г.Алматы, Алмалинский район, ул. Нурмакова, 26/195 кв. 49
e-mail: iparuna@yandex.ru