IRSTI 31.23.99

**STUDY OF THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF FULVIC ACID SOLUTIONS**

**1,2M.K. Kazankapova**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0001-9016-3062)**, 1B.T. Yermagambet**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0003-1556-9526)**, 1,2A.B. Malgazhdarova**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0003-0416-7775)**🖂,**

**1Zh.M. Kassenova** [D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0002-9497-7319)**,2Zh.E. Jakupova** [D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0002-3862-2097)*1«Institute of Coal Chemistry and Technology» LLP, Astana, Kazakhstan,*

*2L.N. Gumilyov Eurasian National**University,**Astana, Kazakhstan,*

**🖂**Correspondent-author: malgazhdarova.ab@mail.ru

The article examines the extraction and purification process of fulvic acids derived from oxidized brown coal from the Maikuben deposit using the Forsyth method. The purification process includes stages such as adsorption, ion exchange purification, and dialysis, with activated carbon (Coconut) serving as the adsorbent. The physicochemical properties of fulvic acid and its neutral dilute solutions were analyzed using infrared (IR) and nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy. The study focused on the unique composition of fulvic acid, determining the content of trace elements and essential organic compounds functioning as nutrients. The reliability of the results is confirmed by the consistency of repeated experiments and the application of alternative analytical methods. In addition, antioxidant properties of fulvic acid were determined, which opens up new prospects as biologically active additives and pharmaceuticals. Forsyth's method has demonstrated its effectiveness, allowing to obtain a purer product with fewer losses compared to traditional purification methods. This approach demonstrates the potential for developing environmentally friendly technologies for extracting valuable substances from domestic coal resources. Further research in this area will substantiate the specific properties and patterns in the interaction of fulvic acid with other inorganic compounds, and expand the potential for application.

**Keywords:** coal, fulvic acid, membrane purification, dialysis, adsorption, organic acids

**ФУЛЬВОҚЫШҚЫЛЫ ЕРІТІНДІЛЕРІНІҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ**

**1М.Қ. Қазанқапова, 1Б.Т. Ермағамбет, 1,2А.Б. Малғаждарова🖂,**

**1Ж.М. Касенова, 2Ж.Е. Джакупова2**

*1«Көмір химиясы және технология институты» ЖШС, Астана, Қазақстан,*

*2Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,*

*е-mail: malgazhdarova.ab@mail.ru*

Мақалада Майкөбен кен орнының тотыққан қоңыр көмірлерінен алынған фульвоқышқылын Форсит әдісімен алу және тазарту қарастырылады. Тазарту кезеңдері: адсорбция, иондық тазарту және диализ, мұнда адсорбент ретінде «Кокосты» белсендірілген көмір қолданылды. Фульвоқышқылының және оның бейтарап сұйылтылған ерітінділерінің физика-химиялық қасиеттері ИҚ және ЯМР спектроскопиясының көмегімен талданды. Фульвоқышқылының бірегей құрамы зерттелді, қоректік зат ретінде әрекет ететін микроэлементтер мен маңызды органикалық қосылыстардың құрамы анықталды. Нәтижелердің сенімділігі қайталанатын тәжірибелер мен талдаудың балама әдістерінің ұқсастықтары кезінде қанағаттанарлық. Сонымен қатар, фульвоқышқылының антиоксиданттық сипаттамалары анықталды, бұл биологиялық белсенді қоспалар мен фармацевтикалық препараттар ретінде жаңа перспективаларды ашады. Форсит әдісі дәстүрлі тазарту әдістерімен салыстырғанда аз шығынмен таза өнім алуда өзінің тиімділігін көрсетті. Бұл тәсіл отандық көмір ресурстарынан бағалы заттарды алудың экологиялық таза технологияларын әзірлеудің әлеуетін көрсетеді. Бұл бағыттағы зерттеулерді одан әрі жүргізу фульвоқышқылының басқа бейорганикалық қосылыстармен әрекеттесуінің ерекше қасиеттері мен заңдылықтарын негіздеуге және пайдалану мүмкіндіктерін кеңейтуге мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** көмір, фульвоқышқылы, мембраналы тазарту, диализ, адсорбция, органикалық қышқылдар

**ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ ФУЛЬВОВОЙ КИСЛОТЫ**

**1М.К. Казанкапова, 1Б.Т. Ермағамбет, 1,2А.Б. Малгаждарова🖂,**

**1Ж.М.Касенова, Ж.Е. Джакупова2**

*1ТОО «Институт химии угля и технологии», Астана, Казахстан,*

*2Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,*

*е-mail: malgazhdarova.ab@mail.ru*

В статье рассмотрены извлечение и очистка методом Форсита фульвовой кислоты, полученной из окисленных из бурых углей месторождения Майкубен. Проведены стадии очистки: адсорбция, ионная очистка и диализ, где в качестве адсорбента использовали активированный уголь «Кокосовый». Проанализированы физико-химические свойства методами ИК- и ЯМР-спектроскопии фульвовой кислоты и её нейтральных разбавленных растворов. Исследован уникальный состав фульвовой кислоты, определены содержание основных микроэлементов, важных органических соединений, выступающих в качестве питательных веществ. Достоверность результатов удовлетворительная при сходимости повторных опытов и альтернативных методов анализа. Наряду с этим, были определены антиоксидантные характеристики фульвокислоты, что открывает новые перспективы в качестве биологически активных добавок и фармацевтических препаратов. Метод Форсита продемонстрировал свою эффективность, позволяя получить более чистый продукт с меньшими потерями по сравнению с традиционными методами очистки. Данный подход демонстрирует потенциал для разработки экологически чистых технологий извлечения ценных веществ из отечественных угольных ресурсов. Дальнейшие исследования в этой области позволят обосновать специфические свойства и закономерности при взаимодействии фульвокислоты с другими неорганическими соединениями, расширить потенциал применения.

**Ключевые слова:** уголь, фульвокислота, мембранная очистка, диализ, адсорбция, органические кислоты

**Introduction.** Currently, humic substances are in demand and are widely produced naturally, as well as synthetically by radical polymerization, abiotic oxidation and enzymatic methods [1-3].

The ability of fulvic acids to enhance solubility creates potential for the development of novel drug delivery systems and the improvement of various pharmacological effects, such as antioxidant activity [4,5], anti-inflammatory properties, and benefits for gastric health [5,6]. The influence of fulvic acid on metal ion mobility in various media has been established due to the abundance of oxygen-containing functional groups. Water-soluble salts of fulvic acid with alkali and alkaline earth metal cations promote their release, as well as precipitation, dissolution, or complex formation with trivalent ions [7-9].

Fulvic acid is an essential fraction of the organic composition of soil, demonstrating higher chemical and physicochemical activity compared to humic acid. The molecule of fulvic acid is small enough to overcome any barriers in its path and contains approximately 14 quadrillion electrons, which act as free radical scavengers. When introduced into a biological environment, fulvic acid molecules convert accumulated waste into nutrients and neutralize free radical waste products [9,10].

Additionally, fulvic acid serves as a transport system capable of delivering nutrients while binding toxins, pesticides, heavy metals, chemical pollutants, mercury, and radionuclides into complexes [8].

Furthermore, fulvic acids play a significant role in the acid-base buffering capacity of soil, contributing to the retention, release, and biological mobility of metal ions and organic chemicals within soil matrices [10].

Depending on their methods of extraction, fulvic acids find applications ranging from dietary supplements to pharmaceuticals. Incorporating fulvic acids into dietary supplements supports immune system enhancement and protection against diseases associated with oxidative cell damage, such as cardiovascular and oncological disorders. Due to their antioxidant properties, fulvic acids can provide protective effects on the cardiovascular system by neutralizing free radicals that may damage vascular and cardiac cells. Including fulvic acids in dietary supplements may lower the risk of atherosclerosis and inflammatory vascular processes, making them promising for the prevention of cardiovascular diseases such as hypertension and ischemic heart disease [11-13].

**Materials and methods.** The Forsyth method was employed to purify fulvic acid extracted from domestic brown coal from the Maikuben deposit. Through a three-stage purification process, a high purity level of 99% was achieved. Commercially available coconut-based sorbents were used as adsorbents, specifically the activated coconut charcoal Extrasorb GAC (12x40) from India. With its high specific surface area and sorption capacity, this charcoal effectively captured and removed impurities, contributing to the successful purification of fulvic acids. The characteristics of the adsorbent are presented in Table 1.

**Table 1 - Characteristics of coconut-based activated charcoal Extrasorb GAC (12x40)**

|  |  |
| --- | --- |
| **Parameter** | **Value** |
| Particle Size | 12x40 mesh |
| Specific Surface Area | ~1100 m²/g |
| Iodine Number | 1000 mg/g |
| Bulk Density | 0.48 g/cm³ |
| Hardness | 98% |
| Moisture Content | ≤ 5% |
| Ash Content | ≤ 3% |
| pH | 6-8 |
| Pore Volume | 0.55 cm³/g |

The final purification stage was conducted using a membrane method (dialysis) until a pH of 4-5 was achieved in distilled water, ensuring complete removal of accompanying ions. By diluting the fulvic acid with distilled water to a neutral medium, a 1.5% model solution was prepared.

**Results and discussion.** The IR spectra of fulvic acids were obtained in the Laboratory of Organometallic Chemistry and Catalysis at Nazarbayev University (Kazakhstan) using a Nicolet iS10 FT-IR spectrometer.

In the IR spectrum of the initial sample, distinct peaks for C=O groups in saturated fatty acids, carboxyl, aldehyde, and ketone groups are absent. A weak band is observed at 1635 cm⁻¹, which may indicate the presence of C=C bonds. This suggests a low concentration of carbonyl compounds or their strong association with other functional groups. The broad band at 3000–3500 cm⁻¹ corresponds to OH group stretching vibrations associated with hydrogen bonding, but it is poorly defined. This could be due to the presence of strong intramolecular hydrogen bonds that obscure the characteristic bands of OH groups. In the IR spectrum of purified fulvic acid obtained using sorbent, the following bands are clearly observed: 3600–3000 cm⁻¹, representing various OH stretching vibrations, with sharp peaks identified approximately at 3035, 2945, and 2880 cm⁻¹. These peaks are characteristic of CH stretching vibrations. The peak at 3035 cm⁻¹ suggests the potential presence of aromatic CH, whereas the peaks at 2945 and 2880 cm⁻¹ indicate aliphatic CH bonds found in alkanes or alkyl groups. A relatively small and sharp peak was detected at 2185 cm⁻¹, which falls within the region associated with nitriles (C≡N) or cumulenes. A moderately intense peak around 1693 cm⁻¹ indicates the presence of a carbonyl group (C=O), which could signify ketones, aldehydes, carboxylic acids, esters, or amides. A sharp peak at approximately 1401 cm⁻¹ suggests the presence of CH bending, likely due to CH2 bending. The obtained spectral data confirm the presence and changes in the functional groups of fulvic acid after purification. The observation of distinct C=O and OH group bands indicates the removal of impurities and the improvement of the composition of the purified sample (Figure 1).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| а | б |

**Fig. 1- IR Spectra Analysis:**

**(a) Original fulvic acid derived from potassium humate; (b) Purified fulvic acid**

The NMR analysis of fulvic acid was performed using a JEOL ECA-500 MHz NMR spectrometer. Both the unpurified and purified samples exhibit characteristic aromatic signals in the range of approximately 6.9 to 8.2 ppm, indicating the presence of aromatic rings in the fulvic acid structure. The shifts of aromatic protons (7.0-8.2 ppm) correspond to substituted benzene or polycyclic aromatic systems. The complex multiplets observed in both spectra suggest that the substitution in the aromatic ring systems varies, with nonequivalent aromatic protons displaying spin-spin coupling. Relative integrations imply the presence of similar aromatic components in the two samples. The change in relative integration suggests a modification in the chemical environment of the aromatic protons. These shift changes likely occur as molecules alter their interactions with one another.

The most significant difference between the spectra is observed in the aliphatic region. The first spectrum (unpurified sample) exhibits a broader range of signals between δ -0.1 and 3.0 ppm, indicating a higher complexity of aliphatic components in the unpurified fulvic acid. These signals likely correspond to varying chain lengths, branching, and substitution patterns in the aliphatic components of the raw sample, which probably contains other biomolecules. After purification, a noticeable reduction in the number of signals in the aliphatic region is observed.

The second spectrum shows a pronounced singlet at δ 2.17 and a multiplet at δ 1.36, suggesting that some aliphatic components were removed or altered during purification. A large peak at 4.7 ppm in the unpurified sample implies a higher content of water or residual solvent. The inverted peak in the purified sample suggests that the sample was saturated to suppress the signal and improve its clarity. The simplified aliphatic region in the purified fulvic acid sample implies that the purification process was effective in removing or altering many of the original aliphatic components. This simplification may include the removal of free fatty acids, carbohydrates, or other small molecular contaminants. (Figure 2).

|  |  |
| --- | --- |
| Изображение выглядит как диаграмма, зарисовка, текст, линия  Автоматически созданное описание | Изображение выглядит как зарисовка, диаграмма, рисунок, линия  Автоматически созданное описание |
| **а** | **б** |

**Fig. 2 - NMR Spectra Analysis:**

**(a) Original fulvic acid derived from potassium humate; (b) Purified fulvic acid**

The results of the spectral analysis reveal significant changes in the composition and structure of fulvic acid before and after purification. The IR spectra indicate improved clarity of bands associated with functional groups such as C=O and OH in the purified sample. The NMR spectra confirm an increase in the concentration of saturated hydrocarbon chains and a decrease in ester and alcohol groups. These changes highlight the effectiveness of sorbents in purifying fulvic acid and enhancing its properties.

The chemical analysis of the concentrated fulvic acid solution was conducted using atomic absorption spectrometry to determine the levels of toxic metals, such as lead, cadmium, mercury, and arsenic. High-performance liquid chromatography (HPLC) methods were applied to analyze the model solution to detect the presence of antioxidants (Tables 2–3). The results indicated the absence of toxic elements in the solutions and a substantial presence of antioxidants in the fulvic acid solution, in line with the regulatory requirements of GOST 26932–86, "Raw Materials and Food Products. Methods for Determining Toxic Element Content." The parameters of the model solution fully meet the established standards, confirming its safety and compliance with regulations.

**Table 2 - Chemical indicators of purified fulvic acid solution with "Coconut" sorbent**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Name of indicators, units of measurement | Permissible concentrations | Results |
| 1 | 2 | 3 |
| - antioxidant content, mg/dm3  - toxic elements, mg/dm3:  -Lead (Pb)  - Arsenic (As)  - Cadmium (Cd)  - Mercury (Hg) | 0.3  0.1  0.03  0.005 | 1356.0±0.058  Not found  Not found  Not found  Not found |

**Table 3 - Chemical Indicators of the Model Solution**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Name of indicators, units of measurement | Norm according to the regulatory document | Results |
| 1 | 2 | 3 |
| toxic elements, mg/dm3:  -Lead (Pb)  - Arsenic (As)  - Cadmium (Cd)  - Mercury (Hg) | 0.3  0.1  0.03  0.005 | Not found  Not found  Not found  Not found |
| - antioxidant content, mg/dm3  - dry matter content. %  - aflatoxin Bі. mg/l  - titratable acidity, % | 1.0-3.5  0.7-3.8 | 138.16±0.042  Not found  Not found  0.24±0.02 |
| Pesticides, mg/kg, not more than:  - Hexachlorocyclohexane (alpha, beta, gamma isomers)  - 4,4 - dichlorodiphenyltrichloromethylmethane and its metabates | 0.01  0.005 | Not found  Not found |
| Amino acid composition, %  - water soluble, mg/100 g  - B1 (thiamine chloride)  -В3 (pantothenic acid)  - В6 (pyridoxine)  - Вс (folic acid) |  | Not found  Not found  Not found  Not found  Not found |

The organic composition of the samples was thoroughly investigated, with results presented in Figures 3–4. High-performance liquid chromatography (HPLC) identified the presence of oxalic, formic, tartaric, and malic acids in the sorption-purified fulvic acid solution. Additionally, a small amount of vitamin B2 (riboflavin) was detected.

****

**Fig. 3 - Chromatograms of organic acid content in the model fulvic acid solution**

****

**Fig. 4 - Chromatograms of amino acid content in the model fulvic acid solution**

Thus, the obtained results of the component analysis and chemical composition of fulvic acid and its neutral solutions contribute to the development of sources for the production of beneficial products. The processing of carbon-containing raw materials and the extraction of valuable substances will significantly enhance the advancement of efficient methods for obtaining competitive components for useful products.

**Conclusion.** The results indicated that the neutral solution based on fulvic acid contains a significant amount of particularly important organic compounds with high potential for the production of beneficial food products.

In the future, additional physicochemical analysis of the composition of fulvic acid extracted from coal feedstock under various conditions will be conducted, along with a detailed examination of its antioxidant properties.

**References**

1. Balestrieri, F., Magrì, A.D., Magrì, A.L., Marini, D., Sacchini, A., Application of differential scanning calorimetry to the study of drug-excipient compatibility// Thermochim. Acta.- 1996. - Vol. 285(2).- P. 337-345. [DOI 10.1016/0040-6031(96)02904-8](https://doi.org/10.1016/0040-6031(96)02904-8)

2. Botes, M.E., Gilada, I.S., Snyman, J.R., Labuschagne, J.P. Carbohydrate-derived fulvic acid wellness drink: its tolerability, safety and effect on disease markers in preART HIV-1 positive subjects // S. Afr. Fam. Pract. - 2018. - Vol. 60 (3).- P. 91-96.

DOI 10.1080/20786190.2017.1397381

3. Chen, Y., Schnitzer, M., Scanning electron microscopy of a humic acid and of a fulvic acid and its metal and clay complexes//Soil Sci. Soc. Am. J.- 1996.-Vol.40(5).- P.682-686

[DOI 10.2136/sssaj1976.03615995004000050024x](https://doi.org/10.2136/sssaj1976.03615995004000050024x)

4. Chien, S.J., Chen, T.C., Kuo, H.C., Chen, C.N., Chang, S.F. Fulvic acid attenuates homocysteine-induced cyclooxygenase-2 expression in human monocytes //BMC Compl. Alternative Med.- 2015. - Vol.15 (1). DOI 10.1186/s12906-015-0583-x

5. Francioso, O., Sanchez-Cortes, S., Tugnoli, V., Ciavatta, C., Gessa, C. Characterization of peat fulvic acid fractions by means of FT-IR, SERS, and 1H, 13C NMR spectroscopy // Appl. Spectrosc //1998. - Vol. 52 (2).- P. 270-277 DOI 10.1366/0003702981943347

6. Gandy, J.J., Snyman, J.R., Van Rensburg, C.E. Randomized, parallel-group, double-blind, controlled study to evaluate the efficacy and safety of carbohydratederived fulvic acid in topical treatment of eczema// Clin. Cosmet. Invest. Dermatol.- 2011. -Vol.4.- P.145- 148

DOI [10.2147/CCID.S23110](https://doi.org/10.2147/ccid.s23110)

7. Ahn, T., Oke, M., Schofield, A., Paliyath, G. Effects of phosphorus fertilizer supplementation on antioxidant activities of tomato fruits.// [Journal of Agricultural and Food Chemistry](https://pubs.acs.org/journal/jafcau?ref=breadcrumb).2015.-Vol.53(5).-P.152-155 DOI [10.1021/jf040248y](https://doi.org/10.1021/jf040248y)

8. L.P. Canellas, F.L. Olivares, N.O. Aguiar, D.L. Jones, A. Nebbioso, P. Mazzei, A. Piccolo. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture//Scientia Horticulturae.- 2015.-Vol. 196. -P. 15-27. [DOI 10.1016/j.scienta.2015.09.013](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013)

9. Y. Wang, X. Gong, X. Dong. Photo-oxidation of arsenite in acidic waters containing Suwannee River fulvic acid: roles of 3SRFA\* and hydroxyl radical //Environmental Science and Pollution Research. -2021.-Vol. 28 (33).- P. 45144-45154. [DOI 10.1007/s11356-021-13900-y](https://doi.org/10.1007/s11356-021-13900-y)

10. Berkovic, A.M., Garcia, Einschlaq F.S., Gonzalez, M.C. at al., Evaluation of the Hg2+ binding potential of fulvic acids from fluorescence excitation-emission matrices //Photochem. Photobiol. Sci.- 2013. -Vol.12. - P. 384 - 392. DOI [10.1039/c2pp25280e](https://doi.org/10.1039/c2pp25280e)

11. W. Tang, G. Zeng, J. Gong, J. Liang, P. Xu, C. Zhang, B. Huang. Impact of humic/fulvic acid on the removal of heavy metals from aqueous solutions using nanomaterials: A review. //Science of the Total Environment.- 2014.-Vol. 468-469.- P.1014-1027.

[DOI 10.1016/j.scitotenv.2013.09.044](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.044)

13. W. Ding, T.E. Romanova, I.P. Pozdnyakov, V.A. Salomatova, M.V. Parkhats, B.M. Dzhagarov, E.M. Glebov, F. Wu, O.V. Shuvaeva. Photooxidation of arsenic (III) in the presence of fulvic acid// Mendeleev Communications.-2016. - Vol. 26 (3).- P. 266-268.

[DOI 10.1016/j.mencom.2016.05.016](https://doi.org/10.1016/j.mencom.2016.05.016)

***Information about the authors***

Kazankapova M.K. - PhD , assoc. professor, member correspondent of the KazNANS, Leading Researcher, Head of Laboratory of LLP «Institute of Coal Chemistry and Technology», Astana, Kazakhstan, e-mail: maira\_1986@mail.ru;

Yermagambet B.T. - Doctor of Chemical Science, rofessor, Academician of the KazNANS, Project Manager, Chief Researcher, Director of LLP «Institute of Coal Chemistry and Technology», Astana, Kazakhstan, e-mail: bake.yer@mail.ru;

Malgazhdarova A.B.- master student Eurasian National University of L.N. Gumilyov, Junior Researcher «Institute of Coal Chemistry and Technology», Astana, Kazakhstan, e-mail: [malgazhdarova.ab@mail.ru](mailto:malgazhdarova.ab@mail.ru);

Kassenova Z.M.- Сandidate of Technical Sciences (PhD), Leading Researcher LLP «Institute of Coal Chemistry and Technology», Astana, Kazakhstan, e-mail: [zhanar\_k\_68@mail.ru](mailto:zhanar_k_68@mail.ru);

Jakupova Zh.E. - Candidate of Chemical Sciences, associate Professor Eurasian National University of L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhanereke@mail.ru

***Сведения об авторах***

Казанкапова М. К. -PhD, асс. профессор, чл.-корр. КазНАЕН, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией ТОО «Институт химии угля и технологии», Астана, Казахстан, e-mail: maira\_1986@mail.ru;

Ермагамбет Б.Т.-доктор химических наук, профессор, академик КазНАЕН, руководитель проекта, главный научный сотрудник, директор ТОО «Институт химии угля и технологии», Астана, Казахстан, e-mail: bake.yer@mail.ru;

Малгаждарова А. Б.- магистрант Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, младший научный сотрудник ТОО «Институт химии угля и технологии», Астана, Казахстан, e-mail: [malgazhdarova.ab@mail.ru](mailto:malgazhdarova.ab@mail.ru);

Касенова Ж. М.- кандидат технических наук (PhD), ведущий научный сотрудник ТОО «Институт химии угля и технологии», Астана, Казахстан, e-mail: [zhanar\_k\_68@mail.ru](mailto:zhanar_k_68@mail.ru);

Джакупова Ж.Е. - кандидат химических наук, доцент кафедры химии Евразийский национальный университета им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: zhanereke@mail.ru

МРНТИ 61.01.94, 61.74.29

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ И ЕГО СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ**

**Е.А. Цешковская[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0003-0330-3325), Н.К. Цой[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0001-5682-930X)🖂,А.Т. Оралова[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0002-9434-0019), К.Н. Тойлюбаева [D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0009-0005-3033-1753)**

*Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан*

**🖂**Корреспондент-автор: [zoinat@mail.ru](mailto:zoinat@mail.ru)

В данной статье представлены результаты исследований по технологии получения модифицированного активированного угля и исследование его сорбционных свойств по отношению к фосфатным ионам. Процесс химической модификации активированного угля заключался в нанесении на его поверхность активных центров, которые обеспечивают избирательное связывание целевых ионов, в данном случае фосфатов. Для этого использована пропитка угля растворами солей железа (FeCl3) с дальнейшей термической обработкой. В результате на поверхности угля образуются оксиды, которые играют ключевую роль в формировании активных центров для адсорбции. Образующиеся на поверхности угля оксиды железа, такие как Fe2O3 и Fe3O4, вступают в координационные взаимодействия с фосфатными ионами, что значительно увеличивает сорбционную емкость материала. Структурные изменения модифицированного угля были подтверждены методами ИК спектроскопии и СЭМ-анализа. Исследование сорбционных свойств полученного модифицированного активированного угля проводилось в различных условиях, включая варьирование рН, температуры и дозировки адсорбента. Эксперименты показали, что наибольшая эффективность адсорбции (85%) достигнута при рН 7, температуре 30 °C и дозировке адсорбента 0,5 г/л. Также проведен сравнительный анализ сорбционных свойств модифицированного и немодифицированного углей. Модифицированный активированный уголь продемонстрировал значительно более высокую эффективность адсорбции (85%) по сравнению с немодифицированным углем (62%).

**Ключевые слова:** модифицированный активированный уголь, оксиды железа, фосфаты, сорбционные свойства, водоочистка.

**МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН БЕЛСЕНДІРІЛГЕН КӨМІРДІ АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ СОРБЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ**

**1Е.А. Цешковская, 1Н.К. Цой🖂, 1А.Т. Оралова, 1К.Н. Тойлюбаева**

*Абылқас Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,*

*e-mail:* [*zoinat@mail.ru*](mailto:zoinat@mail.ru)

Бұл мақалада модификацияланған активтендірілген көмір алу технологиясы және оның фосфат иондарымен сорбциялық қасиеттерін зерттеу нәтижелері ұсынылған. Активтендірілген көмірді химиялық модификациялау процесі оның бетіне мақсатты иондарды таңдап байланыстыратын активті орталықтарды орналастырудан тұрады, бұл жағдайда фосфаттар. Осы мақсатта көмірді темір тұздарының (FeCl3) ерітінділерімен сіңдіру және кейіннен термиялық өңдеу әдісі қолданылды. Нәтижесінде көмір бетінде оксидтер пайда болып, олар адсорбция үшін активті орталықтарды қалыптастыруда маңызды рөл атқарады. Көмір бетінде пайда болатын темір оксидтері, мысалы, Fe2O3 және Fe3O4, фосфат иондарымен координациялық өзара әрекеттесуге түсуі нәтижесінде материалдың сорбциялық сыйымдылығы едәуір артады. Модификацияланған көмірдің құрылымдық өзгерістері ИҚ спектроскопиясы және СЭМ талдау әдістерімен расталды. Алынған модификацияланған активтендірілген көмірдің сорбциялық қасиеттері әртүрлі жағдайларда, соның ішінде pH, температура және адсорбент дозасын өзгерту арқылы зерттелді. Эксперименттер көрсеткендей, ең жоғары адсорбция тиімділігі (85%) pH 7, температура 30 °C және адсорбент дозасы 0,5 г/л болғанда қол жеткізілді. Сондай-ақ, модификацияланған және модификацияланбаған көмірдің сорбциялық қасиеттерін салыстырмалы түрде талдау жүргізілді. Модификацияланған активтендірілген көмір адсорбция тиімділігінің едәуір жоғары екенін көрсетті (85%), ал модификацияланбаған көмір үшін бұл көрсеткіш 62% болды.

**Түйін сөздер:** модификацияланған активтелген көмір, темір оксидтері, фосфаттар, сорбциялық қасиеттері, су тазарту

**TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF MODIFIED ACTIVATED CARBON**

**AND THE STUDY OF ITS SORPTION PROPERTIES**

**Ye.A. Tseshkovskaya, N.K. Tsoy🖂, A. T. Oralova, K.N. Toilyubayeva**

*Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,*

*e-mail:* [*zoinat@mail.ru*](mailto:zoinat@mail.ru)

This article presents the results of research on the technology for obtaining modified activated carbon and its sorption properties concerning phosphate ions. The process of chemical modification of activated carbon involved applying active sites to its surface, which enable selective binding of target ions, in this case, phosphates. For this, the carbon was impregnated with iron salt solutions (FeCl3) followed by thermal treatment. As a result, oxides formed on the carbon surface, which play a key role in the formation of active sites for adsorption. The iron oxides formed on the carbon surface, such as Fe2O3 and Fe3O4, engage in coordination interactions with phosphate ions, significantly increasing the sorption capacity of the material. The structural changes in the modified carbon were confirmed using FTIR spectroscopy and SEM analysis. The sorption properties of the obtained modified activated carbon were studied under various conditions, including variations in pH, temperature, and adsorbent dosage. The experiments showed that the highest adsorption efficiency (85%) was achieved at pH 7, a temperature of 30°C, and an adsorbent dosage of 0.5 g/L. A comparative analysis of the sorption properties of modified and unmodified carbon was also conducted. The modified activated carbon demonstrated significantly higher adsorption efficiency (85%) compared to the unmodified carbon (62%).

**Keywords**: modified activated carbon, iron oxides, phosphates, sorption properties, water purification.

**Введение.** Активированный уголь является наиболее предпочтительным адсорбентом для различных промышленных применений благодаря превосходным сорбционным свойствам, таким как большая площадь поверхности, превосходная пористость, высокая физико-химическая стабильность и поверхностные функциональные группы [1].

Согласно химической науке, активированный уголь представляет собой разновидность углерода с несовершенной структурой, практически не содержащий примесей. По своей химической структуре он схож с графитом [2]. Он может быть синтезирован из различной биомассы или неорганического сырья путем пиролиза с последующей физической или химической активацией [3]. Несмотря на различные преимущества активированного угля в качестве адсорбента, все еще существуют ограничения в производственном процессе, препятствия для повторного роста, способность к вторичной переработке и избирательность по отношению к загрязняющим веществам, которые ограничивают его использование при существенной очистке сточных вод [4]. Важно отметить, что существует множество исследований, в которых изучаются возможные варианты использования углеродных материалов, в частности, активированного угля в качестве адсорбента тяжелых металлов, для адсорбции CO2 и удаления красителей [5, 6, 7, 8].

Литературный обзор показывает, что активированный уголь благодаря развитой пористой структуре и высокой удельной поверхности широко применяется как сорбент, но его эффективность для удаления специфических ионов, включая фосфаты, ограничена [9]. Для решения этой проблемы активно разрабатываются методы химической модификации угля с использованием переходных металлов, в частности ионов железа. Введение ионов железа на поверхность угля формирует активные центры, способные образовывать координационные связи с фосфатными ионами, что увеличивает сорбционную емкость материала [10].

Целью настоящего исследования является разработка технологии получения модифицированного активированного угля и изучение его адсорбционных свойств по отношению к фосфатам. На основе проведенных экспериментов будут определены оптимальные условия для использования данного материала в системах водоочистки, что обеспечит повышение эффективности удаления загрязнителей и устойчивое управление водными ресурсами.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи исследования:

1. разработка методики модификации активированного угля с использованием железа для улучшения его адсорбционных свойств в отношении фосфатов;
2. оценка эффективности полученного материала в различных условиях, включая варьирование рН, температуры и дозировки адсорбента;
3. исследование изменений в структуре угля до и после модификации с помощью анализа сканирующей электронной микроскопией (СЭМ) и инфракрасной (ИК) спектроскопии;
4. сравнительный анализ эффективности модифицированного и немодифицированного активированного угля с помощью ионной хроматографии.

Новизна данного исследования состоит в разработке технологии получения модифицированного активированного угля, являющимся ценным компонентом систем очистки сточных вод от вредных примесей.

Таким образом, предлагаемая технология получения модифицированного активированного угля представляет собой перспективное направление в химической технологии для создания высокоэффективных материалов для водоочистки.

**Материалы и методы.** Для проведения данного исследования был использован активированный уголь, модифицированный ионами железа, а также разработаны экспериментальные методики, направленные на изучение его адсорбционных свойств. Основная цель методологии заключалась в оптимизации условий получения модифицированного активированного угля и исследовании его эффективности для удаления фосфатов из сточных вод. Описание материалов, процедуры модификации, а также методов анализа представлено ниже.

*Исходные материалы.*

Активированный уголь. Для проведения экспериментов был использован активированный уголь с размером гранул от 0,5 до 2,5 мм и насыпной плотностью 0,49–0,53 г/см³. Пористость угля составляла 0,07 см³/г.

Железосодержащие реагенты. Для модификации угля применялся 1M раствор хлорида железа (FeCl3). Этот реагент обеспечивает ионы железа (Fe3+), которые, при дальнейшей термической обработке, превращаются в оксиды железа (Fe2O3 и Fe3O4), создавая активные центры для адсорбции фосфатов.

Растворы фосфатов. Модельные растворы фосфатов с концентрацией 50 мг/л были приготовлены с использованием Na3PO4. Эти растворы использовались для изучения сорбционных свойств модифицированного угля в условиях варьирования параметров эксперимента [11].

*Модификация активированного угля.*

Модификация активированного угля проводилась по следующей методике:

1. Пропитка угля ионами железа. Активированный уголь был погружен в 1M раствор FeCl3 и выдержан при комнатной температуре в течение 24 часов для адсорбции ионов железа на его поверхности. В ходе этого процесса ионы железа связывались с активными центрами угля, образуя предварительные комплексы.

2. Сушка и термическая обработка. После пропитки уголь подвергался сушке при температуре 105 °C в течение 12 часов для удаления лишней влаги. Затем материал был прокален при 350°C в инертной атмосфере (азот), что способствовало образованию оксидов железа (Fe2O3 и Fe3O4) на поверхности угля. Эта стадия критична для создания активных центров, способных к адсорбции фосфатов.

3. Охлаждение и хранение. После термической обработки модифицированный уголь охлаждали до комнатной температуры и хранили в герметичной емкости для предотвращения контакта с воздухом и влаги, что могло бы снизить его адсорбционную активность.

*Экспериментальные условия.*

Для исследования эффективности модифицированного активированного угля проводились адсорбционные эксперименты, направленные на удаление фосфатов из модельных растворов. Эксперименты проводились при различных условиях рН, температуре и дозировке угля для определения оптимальных параметров адсорбции.

1. Варьирование рН. Для оценки влияния кислотно-щелочного баланса раствора использовались буферные растворы, чтобы поддерживать рН в диапазоне от 5 до 9. Известно, что рН раствора существенно влияет на диссоциацию фосфатных ионов и, соответственно, на эффективность их адсорбции на поверхности модифицированного угля [12].

2. Варьирование температуры. Эксперименты проводились при двух температурных режимах: 25 °C и 30 °C. Температура влияет на кинетику адсорбции и возможность образования координационных комплексов между фосфатами и железом [12].

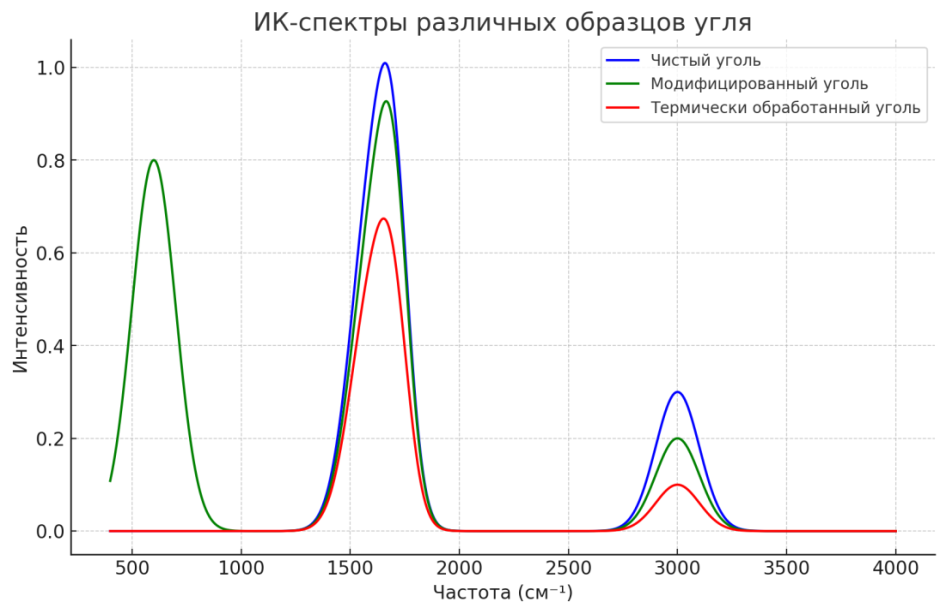
3. Дозировка угля. Для каждого эксперимента варьировалась дозировка модифицированного активированного угля в диапазоне от 0,1 до 0,5 г/л. Это позволило изучить зависимость адсорбции от количества угля, присутствующего в растворе, и найти оптимальную дозировку для достижения наибольшей сорбционной емкости.

*Методики анализа.*

Для количественного определения концентрации фосфатов и оценки эффективности адсорбции использовались следующие методы.

1. Спектрофотометрический метод. Остаточная концентрация фосфатов в растворах после адсорбции измерялась спектрофотометрически с использованием метода молибдата аммония. Метод молибдата аммония используется для количественного определения концентрации фосфатов в растворе. В ходе анализа фосфат-ион взаимодействует с молибдатом аммония, образуя комплексное соединение, которое можно обнаружить спектрофотометрически. Этот метод подходит для измерения концентраций фосфатов после адсорбции [13]. Образцы фильтровались через мембранные фильтры перед измерениями, что позволяло исключить влияние твердых частиц.

2. ИК-спектроскопия. Изменения в структуре угля до и после модификации оценивались с помощью анализа сканирующей электронной микроскопией (СЭМ) и инфракрасной (ИК) спектроскопии. ИК-спектроскопия позволяет выявить присутствие оксидов железа на поверхности угля и изменение химической структуры после модификации, как видно на рисунке 1.

**Рис. 1 - Результаты ИК-спектроскопии различных образцов угля**

На рисунке приведены ИК-спектры трех различных образцов угля: чистого угля, модифицированного угля с оксидами железа и угля, подвергшегося термической обработке.

Для чистого угля характерны интенсивные полосы поглощения в диапазоне 1500–1800 см-¹, которые соответствуют валентным колебаниям C=C (около 1600 см-¹) в ароматических кольцах и C=O (около 1700 см-¹) в карбонильных группах [14]. Наблюдается также слабая полоса около 3000 см-¹, связанная с валентными колебаниями C–H, что указывает на наличие алкановых групп в структуре угля.

Модифицированный уголь демонстрирует новые полосы поглощения в области около 600 см-¹, которые можно отнести к колебаниям Fe–O, что подтверждает наличие оксидов железа в образце. При этом основные углеродные полосы сохраняются, но их интенсивность несколько изменяется, что свидетельствует о взаимодействии между органической матрицей угля и оксидами железа [15].

Для угля, подвергшегося термической обработке, наблюдается уменьшение интенсивности полос в области C–H (3000 см-¹), что указывает на деградацию углеводородных цепей. Также видны изменения в интенсивности полос C=C и C=O, что свидетельствует о термической модификации ароматических и карбонильных структур.

3. Анализ pH и температуры. Значения рН контролировались с помощью pH-метра с точностью до 0,01, а температура поддерживалась с использованием термостатируемых реакционных сосудов для стабильности экспериментальных условий.

Расчет эффективности адсорбции. Эффективность адсорбции фосфатов рассчитывалась по следующей формуле:

Эффективность адсорбции (%) = C0(C0−Ct)×100,

где: C0 - начальная концентрация фосфатов в растворе (мг/л);

Ct - остаточная концентрация фосфатов в растворе после адсорбции (мг/л).

Этот расчет позволил количественно оценить эффективность модифицированного активированного угля при различных условиях эксперимента.

Для подтверждения достоверности результатов все эксперименты проводились в трехкратной повторности, а результаты выражались как среднее значение с указанием стандартного отклонения.

Таким образом, выбранные материалы и методы позволили провести всесторонний анализ сорбционных свойств модифицированного активированного угля и оптимизировать условия его получения и применения в системах водоочистки.

**Результаты и обсуждение.** В ходе исследования была проведена оценка адсорбционных свойств модифицированного активированного угля для удаления фосфатов из модельных растворов. Результаты показали, что модификация угля ионами железа существенно увеличивает его адсорбционную емкость по сравнению с немодифицированным углем. Ниже представлены детализированные результаты экспериментов и их обсуждение.

*Влияние рН на адсорбцию фосфатов*

Равновесие адсорбции зависит от кислотно-щелочного баланса раствора. При рН около 6–7 наблюдается максимальная адсорбция фосфатов, поскольку в этом диапазоне рН оксиды железа на поверхности активированного угля сохраняют свои координационные свойства, необходимые для связывания с фосфат-ионами. В щелочной среде (pH>8) сорбционная способность оксидов железа снижается из-за их перехода в менее реакционноспособные формы, а также из-за повышения концентрации конкурирующих гидроксид-ионов, что приводит к конкуренции за активные центры. Эксперименты показали, что оптимальные результаты по адсорбции достигались при рН 7, что подтверждается данными, представленными в таблице 1.

**Таблица 1. Влияние рН на эффективность адсорбции фосфатов (дозировка угля 0,5 г/л, температура 30 °C)**

|  |  |
| --- | --- |
| рН | Эффективность адсорбции, % |
| 5 | 75 |
| 7 | 85 |
| 9 | 78 |

Наибольшая адсорбционная способность модифицированного активированного угля наблюдалась при нейтральном значении рН (85%), что связано с оптимальной диссоциацией фосфатных ионов при рН 7. При более высоком рН (9) эффективность адсорбции несколько снижается до 78%, что объясняется снижением координационной активности оксидов железа в щелочной среде. В кислой среде (рН 5) адсорбция также оказывается менее эффективной (75%), что связано с протонированием активных центров на поверхности угля, что мешает взаимодействию с фосфатами.

Этот результат подтверждает, что модифицированный активированный уголь демонстрирует наилучшие сорбционные свойства в слабощелочной и нейтральной среде, что делает его перспективным материалом для использования в системах водоочистки с естественным диапазоном рН.

*Влияние температуры на адсорбцию.*

Температурная зависимость адсорбции фосфатов на модифицированном угле показывает, что повышение температуры увеличивает скорость реакции, что может объясняться улучшением диффузии фосфатов к активным центрам. В условиях температурного диапазона 25–35 °C кинетика адсорбции соответствует псевдо-второму порядку, однако при более высоких температурах возможно снижение прочности координационных связей между фосфатами и железом вследствие тепловой десорбции. Энтальпия адсорбции фосфатов на оксидах железа свидетельствует о том, что процесс носит экзотермический характер, и чрезмерное повышение температуры может вызывать разрыв координационных связей. Результаты экспериментов при различных температурах представлены в таблице 2.

**Таблица 2. Влияние температуры на эффективность адсорбции фосфатов (рН 7, дозировка угля 0,5 г/л)**

|  |  |
| --- | --- |
| Температура, °C | Эффективность адсорбции, % |
| 25 | 81 |
| 30 | 85 |

Данные таблицы показывают, что увеличение температуры от 25°C до 30°C приводит к увеличению эффективности адсорбции с 82% до 85%. Это связано с тем, что при повышенной температуре увеличивается подвижность фосфатных ионов, что способствует их более быстрому взаимодействию с активными центрами на поверхности угля. При этом температура 30°C представляется оптимальной для сорбционных процессов, так как дальнейшее увеличение температуры может вызвать десорбцию адсорбированных фосфатов и снижение эффективности процесса.

Таким образом, для обеспечения максимальной сорбционной активности модифицированного активированного угля рекомендуется поддерживать температуру на уровне 30 °C, что соответствует реальным условиям очистки сточных вод в промышленных системах.

*Влияние дозировки угля на адсорбцию.*

Важным аспектом адсорбционного процесса является начальная концентрация фосфатов в растворе. Исследования показывают, что при низких концентрациях фосфатов (до 50 мг/л) процесс адсорбции ограничен количеством доступных активных центров, и адсорбционная емкость близка к максимальной. При повышении концентрации фосфатов (> 100 мг/л) наступает насыщение адсорбента, и скорость адсорбции начинает снижаться. Оптимальная дозировка модифицированного активированного угля составляет 0,5 г/л, так как дальнейшее увеличение дозировки незначительно повышает эффективность адсорбции, что связано с равновесной адсорбционной способностью поверхности угля. Результаты представлены в таблице 3.

**Таблица 3- Влияние дозировки модифицированного активированного угля на адсорбцию фосфатов (рН 7, температура 30 °C)**

|  |  |
| --- | --- |
| Дозировка угля, г/л | Эффективность адсорбции, % |
| 0,1 | 65 |
| 0,5 | 85 |

При увеличении дозировки активированного угля с 0,1 г/л до 0,5 г/л эффективность адсорбции фосфатов возросла с 65% до 85%. Это связано с увеличением числа активных центров для взаимодействия с фосфатными ионами. Однако дальнейшее увеличение дозировки угля может быть экономически неоправданным, так как при этом эффективность адсорбции увеличивается незначительно.

Данный результат позволяет оптимизировать дозировку адсорбента для систем водоочистки, при которой достигается максимальная эффективность при минимальных затратах на материал.

*4.Сравнительный анализ эффективности модифицированного и немодифицирован*

*ного активированного угля с использованием ионной хроматографии.*

Анализ эффективности адсорбции фосфатов на модифицированном и немодифицированном активированном угле проводился методом ионной хроматографии при комнатной температуре (25 °C) и pH 7. Образцы контактировали с углем в течение 24 часов при начальной концентрации фосфатов 50 мг/л и дозировке адсорбента 0,5 г/л.

Для анализа использовалась анионная колонка с элюентом 3,5 мМ Na2CO3 и 1 мМ NaHCO3, что обеспечивало разделение фосфатов и стабильный поток 1,0 мл/мин. Подавление фоновой проводимости элюента осуществлялось при помощи подавителя с ионообменной мембраной в форме капилляра, позволяющей заменять ионы Na+ в элюенте на Н+.

Применение мембранного подавителя снижало фон проводимости, позволяя детектировать низкие концентрации анионов с высокой точностью. Результаты представлены в таблице 4.

**Таблица 4 -Сравнительный анализ эффективности модифицированного и немодифицированного активированного угля с использованием ионной хроматографии**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип угля | Время удерживания (мин) | Площадь пика | Высота пика | Остаточная концентрация фосфатов (мг/л) |
| Модифицированный | 3,5 | 500 | 120 | 10 |
| Немодифицированный | 3,5 | 800 | 180 | 30 |

Полученные хроматограммы показывали более низкий пик для модифицированного угля, что подтверждает его большую сорбционную способность по сравнению с немодифицированным углем. Данные ионной хроматографии позволяют заключить, что модифицированный уголь с оксидами железа имеет значительно более высокую эффективность в удалении фосфатов из раствора.

**Выводы.** Получен модифицированный активированный уголь и исследованы его сорбционные свойства по отношению к фосфатным ионам.

Результаты исследования демонстрируют, что модифицированный активированный уголь обладает высокими сорбционными свойствами по отношению к фосфатам, что делает его перспективным материалом для использования в системах водоочистки. Модификация угля ионами железа привела к увеличению числа активных центров на его поверхности, что позволило значительно повысить его адсорбционную емкость.

Проведенная оценка эффективности полученного реагента показала, что наиболее высокая адсорбционная способность угля наблюдалась при рН 7 и температуре 30 °C, что связано с оптимальными условиями для образования устойчивых комплексов между фосфатами и железом. Эффективность удаления фосфатов достигла 85% при дозировке 0,5 г/л, что подтверждает возможность применения данного материала в системах очистки сточных вод с высокой степенью загрязнения.

По сравнению с немодифицированным углем, модифицированный уголь продемонстрировал значительно более высокую эффективность адсорбции, что подтверждает необходимость его химической обработки для повышения сорбционных свойств.

**Литература**

1. Njewa, J.B., Shikuku, V.O. Recent advances and issues in the application of activated carbon for water treatment in Africa: A systematic review (2007–2022) // Applied Surface Science Advances. -2023. -Vol. 18. DOI 10.1016/j.apsadv.2023.100501

2.Serikbayeva A.M., Ushkempir A.S., Satkozhaeva E. B., Toktibayeva K.R.Purification of heavy metals contained in water with activated carbon and characterization of physicochemical properties// Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2023. – No.2(80).– P.142-151. https://doi.org/10.55956/AVCD9931

3.Selmi T., Gentil S., Fierro V., Celzard A. Key factors in the selection, functionalization and regeneration of activated carbon for the removal of the most common micropollutants in drinking water // Journal of Environmental Chemical Engineering. -2024.-Vol.12(4).

DOI 10.1016/j.jece.2024.113105

4.Pet, I., Sanad, M., Farouz, M., Elfaham, M.M. Review: Recent Developments in the Implementation of Activated Carbon as Heavy Metal Removal Management // Water Conservation Science and Engineering. -2024. -Vol. 9(62). DOI 10.1007/s41101-024-00287-3

5.Jaber, L., Namboorimadathil Backer, S., Laoui, T., Abumadi, F., Koujan, M.M.S., Khalil, K.A., Shanableh, A., Atieh, M.A. Recent trends in surface impregnation techniques on activated carbon for efficient pollutant removal from wastewater // Desalination and Water Treatment. -2024. -Vol. 319:100562. DOI 10.1016/j.dwt.2024.100562

6.Ramutshatsha-Makhwedzha, D., Mbaya, R., Mavhungu, M.L. Application of Activated Carbon Banana Peel Coated with Al2O3-Chitosan for the Adsorptive Removal of Lead and Cadmium from Wastewater // Materials. -2022. -Vol. 15(3): 860. DOI 10.3390/ma15030860

7.Iwar, R.T., Iorhemen, O.T., Ogedengbe, K., Katibi, K.K. Novel aluminium (hydr) oxide-functionalized activated carbon derived from Raffia palm (Raphia hookeri) shells: augmentation of its adsorptive properties for efficient fluoride uptake in aqueous media // Environmental Chemistry and Ecotoxicology. -2021. -Vol.3. -P. 142-154. DOI 10.1016/j.enceco.2021.03.003

8.Kumar, P.M., Krushnamurty, K., Dayamani, A., Mahammadunnisa, S.K., Subramanyam, C.H. Preparation of activated carbons from bio-waste: effect of surface functional groups on methylene blue adsorption // International Journal of Environmental Science and Technology. -2015. -Vol. 12. -P. 1363-1372. DOI 10.1007/s13762-014-0506-2

9.Wang, Z., Nie, E., Li, J., Yang, M. Equilibrium and kinetics of adsorption of phosphate onto iron-doped activated carbon // Environmental Science and Pollution Research. -2012. -Vol. 19. - P. 2908-2917. DOI 10.1007/s11356-012-0799-y

10.Bezza, F.A., Chirwa, E.M.N. Selective and efficient removal of phosphate from aqueous solution using activated carbon-supported MgFe2O4-layered double hydroxide (LDH) hierarchically porous nanocomposite // Research Square. -2023. DOI 10.21203/rs.3.rs-2665764/v1

11.Kibret, B.A., Wu, Y., Minale, M. Fabrication of iron-coated activated carbon and its application for phosphorus removal from aqueous solution // International Journal of Scientific and Research Publications. -2020. -Vol. 10(5). -P. 85-94. DOI 10.29322/IJSRP.10.05.2020.p10110

12.Zuo, Q., Zhang, Y., Zheng, H., Zhang, P. A facile method to modify activated carbon fibers for drinking water purification // Chemical Engineering Journal. -2019. -Vol. 365.- P. 175-182. DOI 10.1016/j.cej.2019.02.047

13.Devulapally, S.K., Venkateshwarlu, G., Meeravali, N.N., Sahayam, A.C. Improvement in the sensitivity of orthophosphate determination by controlling the self-reduction of excess ammonium molybdate followed by room temperature non-ionic mixed micelle cloud point extraction of anionic phosphomolybdenum blue for spectrophotometric determination // Microchemical Journal. -2024. -Vol. 201: DOI 10.1016/j.microc.2024.110531

14.Demiral, İ., Şamdan, C., Demiral, H. Enrichment of the Surface Functional Groups of Activated Carbon by Modification Method // Surfaces and Interfaces. -2020. -Vol. 22: 100873.

DOI 10.1016/j.surfin.2020.100873

15.Chimanlal, I., Lesaoana, M., Richards, H. Chemical modification of Macadamia-derived activated carbon for remediation of selected heavy metals from wastewater // Minerals Engineering. -2022. -Vol. 184:107663. DOI 10.1016/j.mineng.2022.107663

***Сведения об авторах***

Цешковская Е.А.- канд.геогр.наук, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан, e-mail: [elena\_tsesh@mail.ru](mailto:elena_tsesh@mail.ru);

Цой Н.К. - канд.техн.наук, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: [zoinat@mail.ru](mailto:zoinat@mail.ru);

Оралова А.Т. - канд.хим.наук, доцент, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: [oralovaat@rambler.ru](mailto:oralovaat@rambler.ru);

Тойлюбаева К.Н.- магистрант, Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан, e-mail: [karina.11.06.2015@gmail.com](mailto:karina.11.06.2015@gmail.com)

***Information about the authors***

Tseshkovskaya Y.- Candidate of Geographical Sciences, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: [elena\_tsesh@mail.ru](mailto:elena_tsesh@mail.ru);

Tsoy N. - Candidate of Technical Sciences, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: [zoinat@mail.ru](mailto:zoinat@mail.ru);

Oralova A. - Candidate of Chemical Sciences, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda,

Toilyubayeva K. - master student, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: [karina.11.06.2015@gmail.com](mailto:karina.11.06.2015@gmail.com)