

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

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

No3
2025

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



**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF CHEMISTRY**

3 (464)

July – September 2025

**PUBLISHED SINCE JANUARY
1947 PUBLISHED 4 TIMES A YEAR**

ALMATY, NAS RK

Editor in chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovich, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, President of NAS RK RPA, general director of JSC “D.V. Sokolsky Institute of fuel, catalysis and electrochemistry (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Editorial board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ZHOROBKOVA Sharipa Zhorobekova, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Kyrgyzstan, Institute of Chemistry and chemical technology of NAS KR (Bishkek, Kyrgyzstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

KHALIKOV Jurabay Khalikovich, doctor of chemistry, professor, academician of the Academy of Sciences of Tajikistan, V.I. Nikitin Institute of Chemistry AS RT (Tajikistan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

VARZALIEV Vagif Medzhid ogly, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Azerbaijan (Azerbaijan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

GARELIK Hemda, PhD in chemistry, president of the department of Chemistry and Environment of the International Union of Pure and Applied Chemistry (London, England) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan № KZ23VPY00121156, issued 05.06.2025

Thematic scope: *organic chemistry, inorganic chemistry, catalysis, electrochemistry and corrosion, pharmaceutical chemistry and technology.*

Periodicity: 4 times a year.

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

© «Central Asian Academic Research Center» LLP, 2025

Editorial address: JSC «D.V. Sokolsky institute of fuel, catalysis and electrochemistry», 142, Kunayev str., of. 310, Almaty, 050100, tel. 291-62-80, fax 291-57-22, e-mail: orgcat@nursat.kz

Бас редактор:

ЖҮРҮНОВ Мұрат Жұрынұлы, химияғының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, РБҚ ҚР ҰҒА президенті, АҚ «Д.В. Сокольский атындағы Отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакция алқасы:

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мынжасарұлы (бас редактордың орынбасары), химияғының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, «Фитохимия» Халықаралық гылыми-өндірістік холдингінің директоры (Қарағанды, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/4864868>

АГАБЕКОВ Владимир Енокович (бас редактордың орынбасары), химияғының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі, Жана материалдар химиясы институтының құрметті директоры (Минск, Беларусь) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

СТРНАД Мирослав, профессор, Чехия гылым академиясының Эксперименттік ботаника институтының зертханасы менгерушісі (Оломоуц, Чехия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

БҮРКІТБАЕВ Мұхамбетқали, химияғының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

ХОХМАНН Джудит, Сегед университеттінің Фармацевтика факультеттінің Фармакогнозия кафедрасының менгерушісі, Жаратылыстану гылымдарының пәнаралық орталығының директоры (Сегед, Венгрия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

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

ХУТОРЯНСКИЙ Виталий, философия докторы (PhD, фармацевт), Рединг университеттінің профессоры (Рединг, Англия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

ТЕЛТАЕВ Бағдат Бұрханбайұлы, техникағының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Индустрія және инфрақұрылымдық даму министрлігі (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

ФАРУК Асана Дағ, Хамдар аль-Маджда Шығыс медицина колледжінің профессоры, Хамдард университеттінің Шығыс медицина факультеті (Караған, Пәкістан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

ФАЗЫЛОВ Серік Драхметұлы, химияғының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, Органикалық синтез және комір химиясы институты директорының гылыми жұмыстар жөніндегі орынбасары (Қарағанды, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробеккызы, химияғының докторы, профессор, Қырғызстан ҰҒА академигі, КР ҰҒА Химия және химиялық технология институты (Бишкек, Қырғызстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

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

ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджидоглы, химияғының докторы, профессор, АУҒА академигі (Баку, Әзірбайжан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

ГАРЕЛИК Ҳемда, философия докторы (PhD, химия), Халықаралық таза және колданбалы химия одағының Химия және қоршаган орта белгімінің президенті (Лондон, Англия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY»

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Меншіктенуші: «Орталық Азия академиялық гылыми орталығы» ЖШС (Алматы қ.).
Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 05.06.2025 ж. берілген № **KZ23VPY00121156** мерзімдік басылым тіркеуіне койылу туралы күелік.

Такырыптық бағыты: органикалық химия, бейогранникалық химия, катализ, электрохимия және коррозия, фармацевтикалық химия және технологиялар.

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

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

© «Орталық Азия академиялық гылими орталығы» ЖШС, 2025

Редакцияның мекенжайы: 050100, Алматы қ., Қонаев к-си, 142, «Д.В. Сокольский атындағы отын, катализ және электрохимия институты» АҚ, каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail:orgcat@nursat.kz

Главный редактор:

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, президент РОО Национальной академии наук Республики Казахстан, генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакционная коллегия:

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

АГАБЕКОВ Владимир Енокович (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН Беларусь, почетный директор Института химии новых материалов (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

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

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

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

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

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

ТЕЛЬТАЕВ Багдат Бурханбайулы, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Министерство Индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

ФАРУК Ахсана Даr, профессор колледжа Восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет Восточной медицины университета Хамдарда (Карачи, Пакистан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

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

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

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

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

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

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ23VPY00121156, выданное 05.06.2025 г.

Тематическая направленность: *органическая химия, неорганическая химия, катализ, электрохимия и коррозия, фармацевтическая химия и технологии.*

Периодичность: 4 раз в год.

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

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2025

Адрес редакции: 050100, г. Алматы, ул. Кунаева, 142, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail:orgcat@nursat.kz

CONTENTS

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

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

МАЗМҰНЫ

| | |
|---|-----|
| Ә.Д. Алахунова, Л.Э. Агибаева, Р.А. Мангазбаева | |
| Метилцеллюлоза негізінде гидрогельдерді радиациялық өңдеу әдісімен алу..... | 11 |
| А.П. Ауешов, К.Т. Арынов, Ч.З. Ескибаева | |
| Магнийдің бейорганикалық қосылыстарын алу мақсатында серпентинитті қайта өңдеудің ресурстық және экономикалық тиімділігі..... | 29 |
| С. Дузелбаева, Б. Имангалиева, А. Алдиярова, Н. Совет, Б. Бақтияров | |
| Жасанды полимерге балама ретінде крахмалдан биополимер алу және оның биоыдырау қасиеттерін зерттеу..... | 41 |
| Г.Д. Джетписбаева, Б.К. Масалимова, В.А. Садыков, А. Дарменбаева, Г.Б. Аубакирова | |
| Фишер-Тропш синтезінің Со-құрамды катализаторының талғамдылығы мен тұрақтылығына дайындау әдістерінің әсері..... | 64 |
| Б.К. Кенжалиев, А.К. Койжанова, Т.Ю. Суркова, З.Д. Досымбаева, Д.М. Есимова | |
| Техногендік шикізаттан алтынды сілтілеудің режимдері мен параметрлерін зерттеу..... | 75 |
| М.Қ. Құрманалиев, Ж.Е. Шаихова, Л.М. Калимолдина, С.О. Әбілқасова | |
| Краун-эфирлер негізіндегі жана талғамды сорбенттердің синтезі мен сорбциялық қасиеттері..... | 92 |
| Е. Қайратұлы, Э. К. Асембаева, А.Ж. Божбанов, Д.Е. Нұрмуханбетова, Е.Ж. Габдуллина | |
| Құрамдастырылған сүтқышқылды өнімдердің физика-химиялық көрсеткіштерін бағалау..... | 102 |
| А.Б. Қуандықова, Б.Ж. Джембаев, Н.И. Ақылбеков, А.Б. Добрынин | |
| 4-Диметоксифосфорилтетрагидропиран(тиопиран)-4-олдардың молекулалық және кристалдық құрылымдары..... | 115 |
| Р.М. Құдайбергенова, С.А. Орынбаев, Е.А. Байбазарова, Қ.Б. Бөлекбаева, Г.А. Сейтбекова | |
| Ағынды суларды тұрақты тазартудың технологиялық жолдары..... | 127 |
| Г.М. Мадыбекова, А.Б. Исаева, Б.Ж. Муталиева, С.С. Битурсын | |
| Табиги полимерлер негізіндегі, пробиотикалық микроорганизмдер қамтылған микрокапсулалардың физика-химиялық қасиеттері..... | 140 |

**М.М. Матаев, З.Б. Сарсенбаева, М.А. Нурбекова, М.Р. Абдраимова,
К.Ж. Сейтбекова**

FE_{0.84}MN_{1.12}O₃-IN_{0.12}FE_{1.88}O₃ композитінің синтезі және морфологиялық
талдауы.....155

**З. Молдахметов, С. Фазылов, О. Нұркенов, Ж. Ахметқәрімова, О. Сейілханов
Жаңа нафтілді тиосемикарбазидтер мен тиомочевиналардың синтезі
мен қасиеттері.....166**

**Ү. Назарбек, П. Абдуразова, Ф. Қамбарова, Е. Райымбеков
Сулы ерітінділердегі тұздардың ерігіштігінің температуралық өзгерістерін
машиналық оқыту әдістерімен болжау.....184**

**Р.С. Оразбекова, С.А. Тунгатарова, А.Е. Толембек, А.О. Айдарова,
М.Қ. Еркібаева
Жаңартылатын шикізатты құрамында сутегі бар отын қоспаларына дейін
каталитикалық өңдеу.....194**

**С.Қ. Рахимова, Р.И. Джаммаханбетова, Г.К. Муқушева, А.А. Асылбекова,
Ж.Ж. Жумагалиева
Ziziphora Bungeana Juz. метанолды сығындысын спектроскопиялық талдау
және оның бактерияға қарсы белсенділігін зерттеу.....207**

**Р.Қ. Рахметуллаева, Б. Хавилхайрат, Н.Б. Сарова, Г.О. Рвайдарова,
А.Н. Нұрлыбаева
Ауыр метал иондарынан су тазалауға арналған акрил қышқылы негізіндегі
сополимерлер.....219**

**А.Н. Сабитова, Ж.С. Касымова, Р.Е. Мукиянова, Б.Б. Баяхметова,
Н.Н. Нургалиев
Тыңайтқыштар өндірісіндегі металлургиялық шлактардың тиімділігін
зерттеу.....233**

**Ә.Т. Талғатов, Д.А. Бибатырова, А.А. Найзабаев, Ш.Ә. Құттыбаева,
А.З. Абильмагжанов
Бейорганикалық тіректерде иммобилизацияланған полимермен
модификацияланған PD катализаторлары бойынша фенилацетиленді
селективті гидрогенизациялау.....243**

**С. Тянах, Т.О. Хамитова, А.П. Науanova, Д.М. -Кереевна, А.С. Дарменбаева
Кузнецк және Күмісқұдық қоныр көмірінен синтезделіп алынатын гумин
қышқылдарының қасиеттерін зерттеу.....255**

**А.А. Тургунбаева, Н.Г. Гемеджиева, Н.А. Султанова
Rheum Tataricum L. f. өсімдігінің хлороформ сығындысының химиялық
құрамын газ хроматография әдісімен зерттеу.....275**

СОДЕРЖАНИЕ

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

| | |
|---|-----|
| M.M. Mataev, Z.B. Sarsenbayeva, M.A. Nurbekova, M.R. Abdraimova, K.Zh. Seitbekova | |
| Синтез и морфологический анализ композита Fe0.84Mn1.12O3-In0.12Fe1.88O3..... | 155 |
| Z. Muldakhmetov, S. Fazylov, O. Nurkenov, Zh. Akhmetkarimova, O. Seilkhanov | |
| Синтез и свойства новых нафтилилсодержащих тиосемикарбазидов и тиомочевин..... | 166 |
| U. Nazarbek, P. Abdurazova, G. Kambarova, Y. Raiymbekov | |
| Прогнозирование изменений растворимости солей в воде в зависимости от температуры с использованием машинного обучения..... | 184 |
| R.S. Orazbekova, S.A. Tungatarova, A.E. Tolembek, A.O. Aidarova, M.K. Yerkibaeva | |
| Катализитическая переработка возобновляемого сырья в водородсодержащие топливные смеси..... | 194 |
| S.K. Rakhimova, R.I. Jalmakhanbetova, G.K. Mukusheva, A.A. Asylbekova, Zh. Zh. Zhumagaliyeva | |
| Спектроскопический анализ метанольного экстракта <i>Ziziphora bungeana</i> Juz. и исследование его антибактериальной активности..... | 207 |
| R.K. Rakhetullaeva, B. Khavilkhairat, N.B. Sarova, G.O. Rvaidarova, A.N. Nurlybayeva | |
| Кополимеры на основе акриловой кислоты для очистки воды от ионов тяжёлых металлов..... | 219 |
| A.N. Sabitova, Zh.S. Kassymova, R.E. Mukianova, B.B. Bayahmetova, N.N. Nurgaliev | |
| Исследование эффективности металлургических шлаков при производстве удобрений..... | 233 |
| E.T. Talgatov, D.A. Bibatyrova, A.A. Naizabaev, S.A. Kuttybayeva, A.Z. Abilmagzhanov | |
| Селективное гидрирование фенилэтина на модифицированных полимерами PD-катализаторах, иммобилизованных на неорганических носителях..... | 243 |
| S. Tyanakh, T.O. Khamitova, A.P. Nauanova, D.M. Kereevna, A.S. Darmenbayeva | |
| Исследование свойств гуминовых кислот, синтезированных из бурого угля Кузнецкого и Кумускудукского месторождений..... | 255 |
| A.A. Turgunbaeva, G.N. Gemejiyeva, N.A. Sultanova | |
| Исследование химического состава хлороформного экстракта <i>Rheum</i> <i>Tataricum</i> L. f. методом газовой хроматографии..... | 275 |

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

ISSN 2224–5286

Volume 3. Number 464 (2025), 11–28

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.297>

MRHTI 31.25.15

УДК 54.057; 54-724

© A.D. Alakhunova¹, L.E. Agibayeva^{1*}, R.A. Mangazbayeva², 2025.

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

²Satbayev University, Almaty, Kazakhstan.

*E-mail: Laura.Agibaeva@kaznu.edu.kz

OBTAINING OF METHYLCELLULOSE-BASED HYDROGELS USING RADIATION TREATMENT METHOD

Assem Darkhankzy Alakhunova — Master of Technical Sciences, Department of Chemistry and Technology of Organic Compounds, Natural Substances and Polymers, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: assem.u7@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-1065-4278>;

Laura Erlanovna Agibayeva — PhD, Senior Lecturer, Department of Chemistry and Technology of Organic Compounds, Natural Substances and Polymers, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: Laura.Agibaeva@kaznu.edu.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5058-5305>;

Rauash Amantayevna Mangazbayeva — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Chemical and Biochemical Engineering, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: r.mangazbayeva@satbayev.university, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1876-591X>.

Abstract. This paper is dedicated to the synthesis of methylcellulose-based hydrogels using the radiation treatment method. Usually, irradiation of polysaccharides, including cellulose derivatives, leads to their destruction, resulting in the formation of chains with lower molecular weight. The formation of cross-linked structures is complicated due to the rigid structure of macromolecules and the predominance of chemical bond breakage under ionizing radiation. Hydrogels based on polysaccharides can be obtained under strict control of irradiation dose, dose rate, temperature, polymer concentration, and other factors. The paper discusses the method of obtaining methylcellulose-based hydrogels by irradiating with accelerated electrons at doses ranging from 20 to 100 kGy. The process of forming a three-dimensional cross-linked structure as a result of radiation treatment was studied and confirmed using sol-gel analysis, viscometry, and IR spectroscopy. At high irradiation doses and corresponding temperature increase in the system, the yield of the gel fraction decreases due to the phase separation of the methylcellulose aqueous solution into more concentrated and diluted phases, caused by the presence of LCST. Increasing the polysaccharide concentration in the initial solution leads to a reduction in the gel fraction, which may indicate the predominance of the destruction process under these conditions. Results of the swelling degree analysis of

MC hydrogels show that the irradiation dose practically does not affect the cross-linking density of the obtained gels. Furthermore, MC hydrogels exhibit a higher swelling ability in water than in ethanol, which is related to the nature of the polymer-solvent interaction.

Keywords: methylcellulose, radiation treatment, hydrogels, sol-gel analysis, cross-linking, destruction

© Э.Д. Алахунова¹, Л.Э. Агибаева^{1*}, Р.А. Мангазбаева², 2025.

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

²Satbayev University, Алматы, Қазақстан.

*E-mail: Laura.Agibaeva@kaznu.edu.kz

МЕТИЛЦЕЛЛЮЗА НЕГІЗІНДЕ ГИДРОГЕЛЬДЕРДІ РАДИАЦИЯЛЫҚ ӨНДЕУ ӘДІСІМЕН АЛУ

Алахунова Эсем Дарханқызы — техника ғылымдарының магистрі, органикалық заттар, табиғи қосылыстар және полимерлер химиясы мен технологиясы кафедрасы, әл-Фараби ат. Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: assem.u7@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-1065-4278>;

Агибаева Лаура Эрлановна — PhD, органикалық заттар, табиғи қосылыстар және полимерлер химиясы мен технологиясы кафедрасының аға оқытушысы, әл-Фараби ат. Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: Laura.Agibaeva@kaznu.edu.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5058-5305>;

Мангазбаева Рауаш Амантаевна — химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Химиялық және биохимиялық инженерия кафедрасының менгерушісі, Satbayev University, Алматы, Қазақстан,

E-mail: r.mangazbayeva@satbayev.university, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1876-591X>.

Аннотация. Бұл жұмыс метилцеллюзата негізіндегі гидрогельдерді радиациялық өндеу әдісімен алу мәселесіне арналған. Әдетте полисахаридтерді, оның ішінде целлюзата туындыларын сәулелендіру олардың деструкциясына әкеледі, бұл молекулалық массасы тәмен тізбектерді тудырады, ал ионданған сәулелену әсерінен химиялық байланыстардың үзіліү мен макромолекулалардың қатты құрылымына байланысты желімделген құрылымдардың түзілуі қынға соғады. Полисахаридтер негізіндегі гидрогельдер сәулелену дозасы, дозаның қуаты, температура, полимер концентрациясы және басқа да факторларды мұкият бақылау арқылы алынуы мүмкін. Жұмыста метилцеллюзата негізіндегі гидрогельдерді 20-100 кГр дозалары бойынша жылдамдатылған электрондармен сәулелендіру әдісімен алуы қарастырылды. Радиациялық өндеу нәтижесінде үш өлшемді торланған құрылымның түзілу процесі золь-гель талдауы, вискозиметрия және ИК-спектроскопия әдістерімен зерттеліп, расталды. Жоғары дозада сәулелендіру және жүйедегі температураның көтерілуі кезінде, метилцеллюзата су ерітіндісінің фазалық жіктелуі нәтижесінде гель фракциясының шығуы төмендейді, бұл ТКЕТ-ның болуымен түсіндірледі. Полисахаридтің бастапқы ерітіндідегі концентрациясының артуы гель фракциясының үлесін төмендетеді,

бұл осы жағдайларда деструкция процесінің басым болуын көрсетеді. МЦ гидрогельдерінің ісіну дәрежесін талдау нәтижелері көрсеткендей, сәулелену дозасы алынған гельдердің торлану тығыздығына іс жүзінде әсер етпейді. Сонымен катар, МЦ гидрогельдері суда этанолға қараганда жогары ісіну қабілеттіне ие, бұл полимер мен еріткіш арасындағы өзара әрекеттесу сипатына байланысты.

Түйін сөздер: метилцеллюлоза, радиациялық сәулелендіру, гидрогельдер, золь-гель талдауы, торлану, деструкция

© А.Д. Алахунова¹, Л.Э. Агибаева^{1*}, Р.А. Мангазбаева², 2025.

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

²Satbayev University, Алматы, Казахстан.

*E-mail: Laura.Agibaeva@kaznu.edu.kz

ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ МЕТОДОМ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Алахунова Эсем Дарханқызы — магистр технических наук, кафедра химии и технологии органических веществ, природных соединений и полимеров, НАО «Казахский национальный университет им. аль-Фараби», Алматы, Казахстан,

E-mail: assem.u7@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-1065-4278>;

Агибаева Лаура Эрлановна — PhD, старший преподаватель кафедры химии и технологии органических веществ, природных соединений и полимеров, НАО «Казахский национальный университет им. аль-Фараби», Алматы, Казахстан,

E-mail: Laura.Agibaeva@kaznu.edu.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5058-5305>;

Мангазбаева Рауш Амантаевна — кандидат химических наук, ассоциированный профессор, заведующий кафедрой Химической и биохимической инженерии, Satbayev University, Алматы, Казахстан,

E-mail: r.mangazbayeva@satbayev.university, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1876-591X>.

Аннотация. Данная работа посвящена синтезу гидрогелей на основе метилцеллюлозы с использованием метода радиационной обработки. Обычно облучение полисахаридов, включая производные целлюлозы, вызывает их деструкцию, что приводит к образованию цепей с более низкой молекулярной массой, а формирование спиральных структур затруднено из-за жесткой структуры макромолекул и преобладания разрыва химических связей под действием ионизирующего излучения. Гидрогели на основе полисахаридов путем облучения могут быть получены при строгом контроле дозы облучения, мощности дозы, температуры, концентрации полимера и других факторов. В работе рассматривается метод получения гидрогелей на основе метилцеллюлозы путем облучения ускоренными электронами при дозах от 20 до 100 кГр. Процесс образования трехмерной спиральной структуры в результате радиационной обработки был исследован и подтвержден с использованием золь-гель анализа, вискозиметрии и ИК-спектроскопии. При высоких дозах облучения и соответствующем повышении температуры в системе, выход гель-фракции уменьшается из-за фазового расслоения водного раствора метилцеллюлозы на более концентрированную и

разбавленную фазы, что обусловлено наличием НКТР. Увеличение концентрации полисахарида в исходном растворе ведет к снижению доли гель-фракции, что может свидетельствовать о преобладании процесса деструкции при таких условиях. Результаты анализа степени набухания гидрогелей МЦ показывают, что доза облучения практически не влияет на плотность сшивки полученных гелей. Кроме того, гидрогели МЦ обладают большей набухающей способностью в воде, чем в этаноле, что связано с характером взаимодействия полимера с растворителем.

Ключевые слова: метилцеллюлоза, радиационное облучение, гидрогели, золь-гель анализ, сшивание, деструкция

Введение. Радиационное облучение – практический метод, используемый для преобразования и получения высокоэффективных полимерных материалов с уникальными физико-химическими свойствами и широкого спектра применения путем формирования трехмерно сшитых структур, а также прививки и деструкции полимеров (Ashfaq et. al., 2020). Один из методов радиационной обработки, метод облучения электронным пучком (ОЭП) становится передовым подходом для оптимизации физических и механических свойств полимерных материалов, таких как диэлектрические, электрические, структурные и тепловые свойства (Raghu et. al., 2014). ОЭП имеет множество преимуществ, включая короткое время обработки, высокую эффективность, низкую стоимость оборудования и высокую доступность энергии (Shin et. al., 2015), в том числе и возможность его применения для синтеза новых полимерных материалов.

Как правило, существует 2 типа электронно-лучевых реакций, которые конкурируют во время излучения: разрыв цепи и цепная связь. Тип реакции при облучении зависит от нескольких параметров: поглощенной дозы, структуры полимера, температуры при облучении, а также функциональных групп полимера. Когда энергия ОЭП взаимодействует с полимерным материалом, она вызывает изменения в молекулярной структуре, такие как переход в возбужденное состояние, ионизация, перемещение атомов, карбонизация и образование свободных радикалов; в результате происходит расщепление цепи и образование поперечных связей (Raghu et. al., 2014). Радиация не только изменяет химическую структуру полимера, но и может усилить присутствие захваченных зарядов или создать дефекты в полимерной матрице. Таким образом, эти изменения ответственны за изменение диэлектрических, электрических, тепловых и других свойств радиационно обработанных полимеров.

Мощность дозы может быть переменной; облучение с помощью электронного пучка (ЭП) дает более высокую степень локальной концентрации радикалов (Kim et. al., 2015). Кроме того, облучение водорастворимых полимеров в водном растворе, благодаря высокому выходу радикалов, часто используется для образования гидрогелей. Гамма- или ЭП-облучение считается очень эффективным методом для получения макроскопических трехмерных решеток способных к набуханию. Принцип сшивания электронных пучков основан на фокусировке высокоэнергетических электронов, генерируемых ускорителем

электронов, в полимерной матрице с последующим образованием свободных радикалов (Nouh et. al., 2009). Связывание этих свободных радикалов приводит к увеличению молекулярной массы полимера (Rosiaak et. al., 1999). Были предложены и изучены процессы синтеза на основе обработки электронными пучками или γ -излучением. Функциональные группы в полимерных цепях могут образовывать радикалы под действием электронного пучка или γ -излучения, и формирование суперабсорбирующих гидрогелей происходит за счет путем радикальной полимеризации. Гидрогель, полученный методом β -лучевого облучения, состоит из трехмерной сплошной полимерной сетки и водного раствора разветвленных молекул полимера (Fei et. al., 2000). В большинстве случаев излучение электронного пучка в диапазоне 20 – 100 кГр, является оптимальным условием сшивания многих полимеров (Kim et. al., 2015).

Вместе с тем, полимеры могут подвергаться деструкции после электронно-лучевой обработки. М. Бэр сообщил о снижении вязкости разрушения и изменения цвета растворов полимеров при использовании электронно-лучевого излучения в качестве метода упрочнения (Behr et. al., 2005).

Гидрогели, полученные путем радиационного облучения, синтезируются без применения токсичных химических реагентов и других добавок, а продукты такого синтеза являются биоразлагаемыми, что позволяет использовать их в качестве экологически чистых материалов для промышленного и фармацевтического использования (Fei et. al., 2000). Гидрогели могут быть получены при правильном контроле дозы облучения, мощности дозы, температуры, концентрации полимера и т.д.

Хотя радиационный метод хорошо работает для многих синтетических полимеров, его применение для синтеза гидрогелей на основе природных полимеров, таких как полисахаридов более проблематичен (Wach et. al., 2014). Как правило, облучение полисахаридов, в том числе производных целлюлозы, сопровождается деструкцией, в результате чего образуются цепи с пониженной молекулярной массой, а образование сплошных структур не представляется возможным из-за жесткоцепного строения макроцепи и преобладающего процесса разрыва химических связей под воздействием ионизирующего излучения (Ершов, 1998). Показано, что полимеры природного происхождения, облученные в твердом состоянии, подвергаются расщеплению ацетальных связей в основной цепи. Wach и соавторы изучали деградацию и сшивание различных производных целлюлозы с помощью высокоэнергетического излучения (Wac, et. al., 2004). Они показали, что в разбавленных растворах, а также в твердой форме молекулы целлюлозы разрушаются под действием высокоэнергетического излучения, но сшиваются при особых условиях. Henniges и соавторы доказали, что полисахаридные цепи могут быть деполимеризованы, а лигнин разлагается в результате обработки ОЭП за короткое время (Hennige, et. al. 2013). Авторы, исследовавшие влияние ОЭП на реакционную способность бамбуковой целлюлозы, подтвердили, что низкая полидисперстность может повысить реакционную способность целлюлозы за счет разрушения кристаллических и аморфных участков целлюлозы (Mohammad

Padzi, et. al., 2018).

Однако, в некоторых случаях с помощью высокоэнергетического излучения в мягких условиях можно получить химические гели в виде пасты. Разработаны некоторые методы сшивания полисахаридов под действием ионизирующего излучения с использованием добавки, способствующей процессу сшивания, например, алкинового газа или четыреххлористого углерода. Эти методы требуют добавок и специфических условий реакции, поэтому обработка довольно сложна (Kim et. al., 2015).

В связи с этим в данной работе рассматривается способ получения гидрогелей на основе метилцеллюлозы путем радиационного облучения, в частности путем облучения пучком ускоренных электронов.

Материалы и основные методы. Метилцеллюлоза (МЦ) производства "Sigma Aldrich" (США), с молекулярной массой 40000, вязкостью 400 cP, использовалась без дополнительной очистки. Хлорид натрия (NaCl) производства компании «РеактивСнаб» (Казахстан), степени чистоты «чда» использовался для приготовления 0,9% раствора путем растворения точно взвешенной навески NaCl в объеме дистиллированной воды. Этанол производства компании «Талгарский спирт завод» (Алматы), степени чистоты 96%, использовался без дополнительной обработки.

Радиационный синтез гелей эфиров целлюлозы. Водные растворы МЦ различных концентраций 10, 15, 20% были приготовлены путем взвешивания точной навески полимера на аналитических весах RADWAG AS-2201X (точность 0,0001 г) и растворения в рассчитанном объеме дистиллированной воды. С учетом характерной для водных растворов МЦ нижней критической температуры растворения приготовленные растворы хранились в холодильнике в течение 3-4 дней при температуре -3 – -4 °C, для обеспечения полной гомогенизации и во избежание пенообразования растворов. Далее растворы были упакованы в полиэтиленовые пакеты размером 5x5 и 10x10 см, масса раствора в каждом пакете составляла 5 г, для улучшения герметизации образцы вакуумировались двойным слоем, для дальнейшего радиационного облучения. Радиационная обработка образцов растворов полисахаридов проводилась на линейном ускорителе электронов ИЛУ-10 в РГП на ПХВ «Институт ядерной физики» Министерства энергетики Республики Казахстан (Алматы), при дозах облучения: 20, 40, 60, 80, 100 кГр.

Анализ физико-химических свойств полученных гелей.

Выход гель – фракции и золь – фракции сшитых гидрогелей рассчитывали по формуле:

$$G (\%) = \frac{m_{\text{сух.отм}}}{m_{\text{сшн.}}} \times 100\% \quad (1)$$

$$Z (\%) = 100\% - G(\%) \quad (2)$$

где $m_{\text{сух.отм.}}$ – масса сухого образца гидрогеля после промывки; $m_{\text{синг.}}$ – начальная масса гидрогеля (синтезированного).

Определение вязкости золь-фракции гелей эфиры целлюлозы проводилось на микровискозиметре Lovis 2000 M/E (AntonPaar), действие которого основано на измерении методом падающего шарика. Вязкость растворов метилцеллюлозы определяли на ротационном реометре RM200 Plus (Lamy Rheology).

ИК спектры водорастворимых гидрогелей на основе эфирами целлюлозы были получены с использованием спектрометра PerkinElmer - Spectrum 65 FT-IR с Фурье преобразователем, с разрешением 1 см⁻¹ в области 4000 – 500 см⁻¹. Образцы для анализа были использованы в виде тонкослойных пленок размером 1×1 см.

Степень набухания радиационно-сшитых гелей МЦ была определена гравиметрическим методом путем погружения образцов гидрогелей в стакан, содержащий 20 мл растворителя. В качестве растворителей были использованы дистилированная вода, этанол и 0,9% раствор NaCl. Измерение массы образцов гидрогелей в разных растворителях проводили каждые 25 минут в течении 2,5 часов и до установления равновесной степени набухания образца. Степень набухания рассчитывали по формуле:

$$\alpha = \frac{m - m_0}{m_0}, \quad (3)$$

где m – масса набухшего гидрогеля, г; m_0 – начальная масса гидрогеля, г.

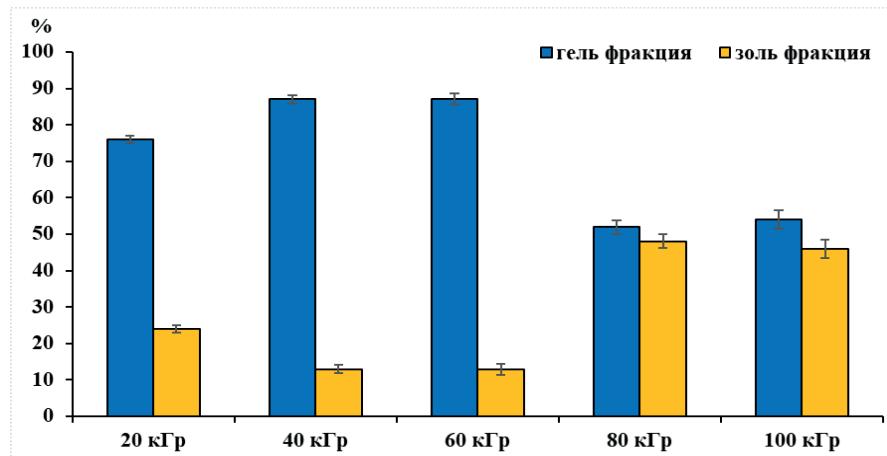
Результаты и их обсуждение. Как следует из введения, радиационное облучение – это выгодный метод, используемый для преобразования и получения полимерных материалов путем сшивания облучением. Преимуществами радиационного облучения являются одновременная стерилизация продукта в ходе синтеза и получение биоразлагаемых продуктов, которые все чаще используются в качестве экологически чистых материалов промышленного и фармацевтического назначения. В качестве источника радиационного облучения в данной работе были использованы пучки быстрых электронов. В целом электронно-лучевое излучение в диапазоне 20-100 кГр является эффективным средством сшивания полимеров (Kim et. al., 2015). В качестве объекта исследования была выбрана метилцеллюлоза, так как эфиры целлюлозы являются одним из самых широко используемых природных материалов в мире (Mohammad Padzil et. al., 2018).

Облучение полимерных материалов вызывает определенные эффекты, зависящие от вида полимера, параметров облучения, состояния обрабатываемого материала и т.д. (Furusawa, et. al., 2005). Две основные реакции, определяющие конечные свойства полимера, включают деструкция основной цепи, приводящее к уменьшению молекулярной массы макромолекул, и сшивание, противоположный процесс, заканчивающийся получением макроскопического, нерастворимого материала (геля). В зависимости от дозы излучения и энергии поглощения преобладает одна из конкурирующих реакций. Выход деструкции и сшивания, или, точнее, взаимное соотношение этих двух параметров, определяет результат.

В связи с этим полученные гели были исследованы методом золь-гель анализа для определения эффективности применения радиационного облучения для синтеза гелей метилцеллюлозы (рисунок 1).

Анализируя золь-гель фракции метилцеллюлозы, обработанных радиационным излучением, можно наблюдать преобладание продуктов реакции сшивания в растворах МЦ с концентрацией 10%. Выход гель фракции снижается при повышении доз до 80 кГр и 100 кГр, которые находятся в непосредственной близости по значениям. Отсутствие на первый взгляд определенной закономерности в выходе гель и золь фракций МЦ можно связать с особенностью полисахарида. МЦ является полимером, водные растворы которого характеризуются наличием нижней критической температуры растворения (НКТР), что приводит к изменению конформации макромолекул полисахарида при изменении температуры (Yoo et. al., 2013). Если учесть, что повышение дозы облучения сопровождается небольшим локальным нагревом и повышением температуры реакционной среды, то снижение выхода гель-фракции можно объяснить изменением в системе за счет фазового расслоения на более концентрированный и разбавленный слои в системе благодаря наличию НКТР, характерного водному раствору МЦ. Таким образом, выделяющиеся тепло способствует конформационным переходам МЦ, что оказывает значительное влияние на образованию трехмерной сетки эфира целлюлозы.

Рисунок 1. Результаты золь-гель анализа образцов 10% МЦ, подвергнутых радиационной обработке



Исходя из полученных результатов, высокие показатели сшивания наблюдаются у гелей МЦ, обработанных дозами облучения 40 кГр, 60 кГр. Это означает, что связь C–H четвертичного атома углерода цепи МЦ разрывается, что в дальнейшем приводит к сшиванию макроцепей через связь C–C.

Далее были проанализированы золь фракции гелей метилцеллюлозы, полученных после радиационного облучения. Была изучена вязкость золь-фракций

и проведено сравнение с вязкостью исходного раствора метилцеллюлозы с целью изучения влияния дозы облучения на степень деструкции полисахарида (таблица 1). Исходя из данных, представленных в таблице 1, можно сделать вывод, что увеличение дозы облучения ведет к повышению степени деструкции полимеров, а точнее к снижению молекулярной массы МЦ. По результатам вискозиметрического анализа также можно сделать заключение, что с увеличением дозы облучения возрастает количество С-С связей в эфирах, целлюлозы подвергшихся разрыву.

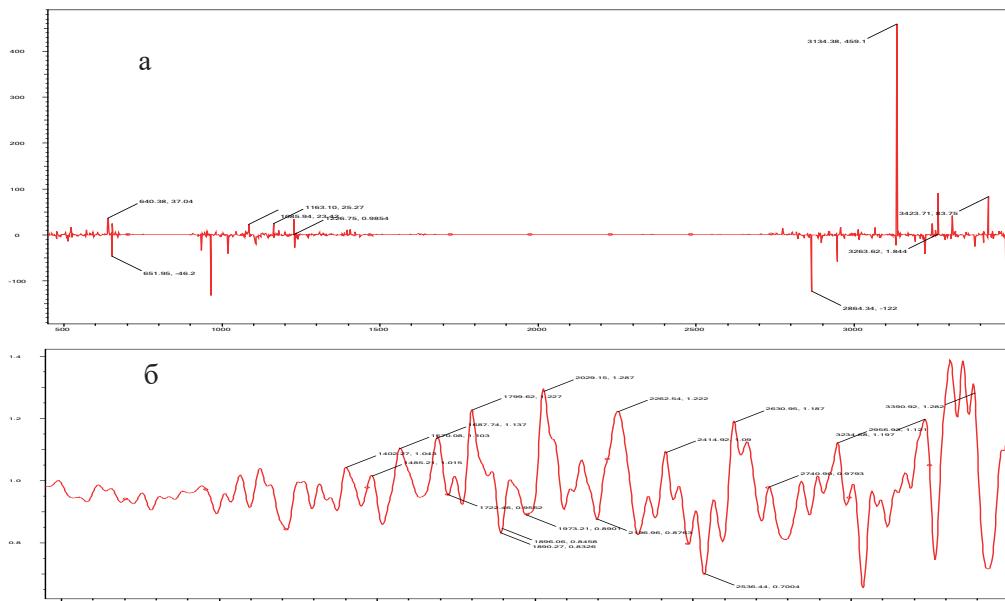
Таблица 1 – Результаты вискозиметрического анализа золь фракции 10% МЦ, полученных радиационным облучением

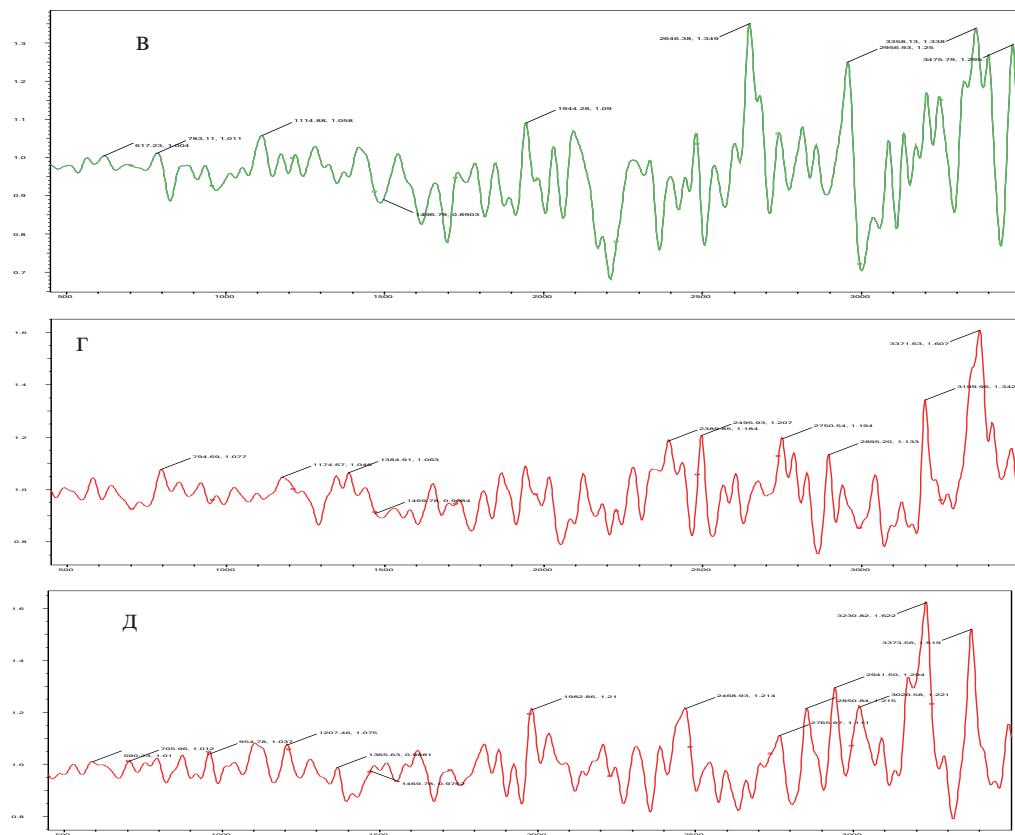
| Доза облучения, кГр | Вязкость промытого полимера, Ра*s | | | | |
|---------------------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0 кГр | 20 кГр | 40 кГр | 60 кГр | 80 кГр |
| МЦ 10% | 198,1* | 0,83102** | 0,74128** | 0,71295** | 0,70481** |

Примечание: *метод измерения цилиндр в цилиндре; **метод измерения по принципу Стокса (падающий шар)

Далее золь-фракция эфиров целлюлозы, обработанных пучком ускоренных электронов, была проанализирована методом ИК-спектроскопии (рисунок 2). По данным ИК-спектроскопии можно заметить, что получены спектры имеют общий вид характерный для низкомолекулярных веществ. Обилие пиков при различных длинах волн объясняется тем, что во время облучения происходит деструкция случайнным образом, не только по С-С связям исходного полисахарида, но и по С-O, O-H и др. как исходного МЦ, так и промежуточных продуктов распада.

Рисунок 2 – ИК-спектры пленок, полученных из золь фракции 10%-го водного раствора МЦ после обработки ускоренными электронами. Дозы облучения: 20 (а); 40 (б); 60 (в); 80 (г); 100 (д) кГр





На основании полученных результатов и литературных данных (Abad et al., 2016; Haji-Saied et. al., 2010; Chmielewski et. al., 2005) можно составить возможную схему сшивания и деструкции МЦ под действием радиационного облучения. На рисунках 3-4 показаны схемы конкурирующих реакций: сшивание и деструкция полимерной сетки. В первой реакции идет сшивание за счет разрыва связи O-R в заместителе эфиров целлюлозы, а во второй реакции – деструкция полимерной матрицы, за счет разрыва C-C связей вдоль основной макроцепи из-за неравномерного распределения энергии излучения.

Рисунок 3 – Возможная схема сшивания МЦ под действием радиационного облучения

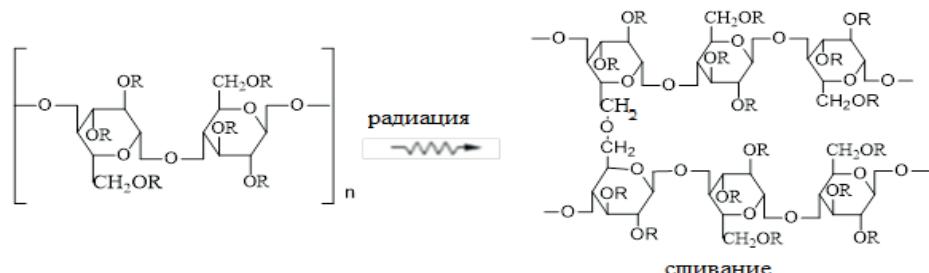
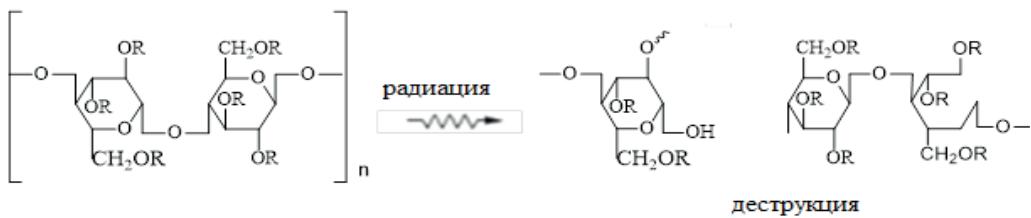


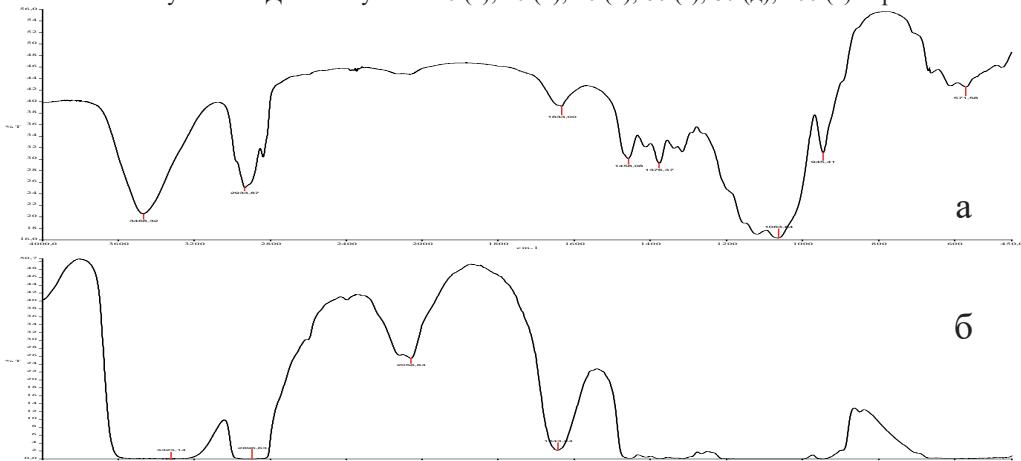
Рисунок 4 – Схема деструкции МЦ под действием радиационного облучения (Ершов, 1999)

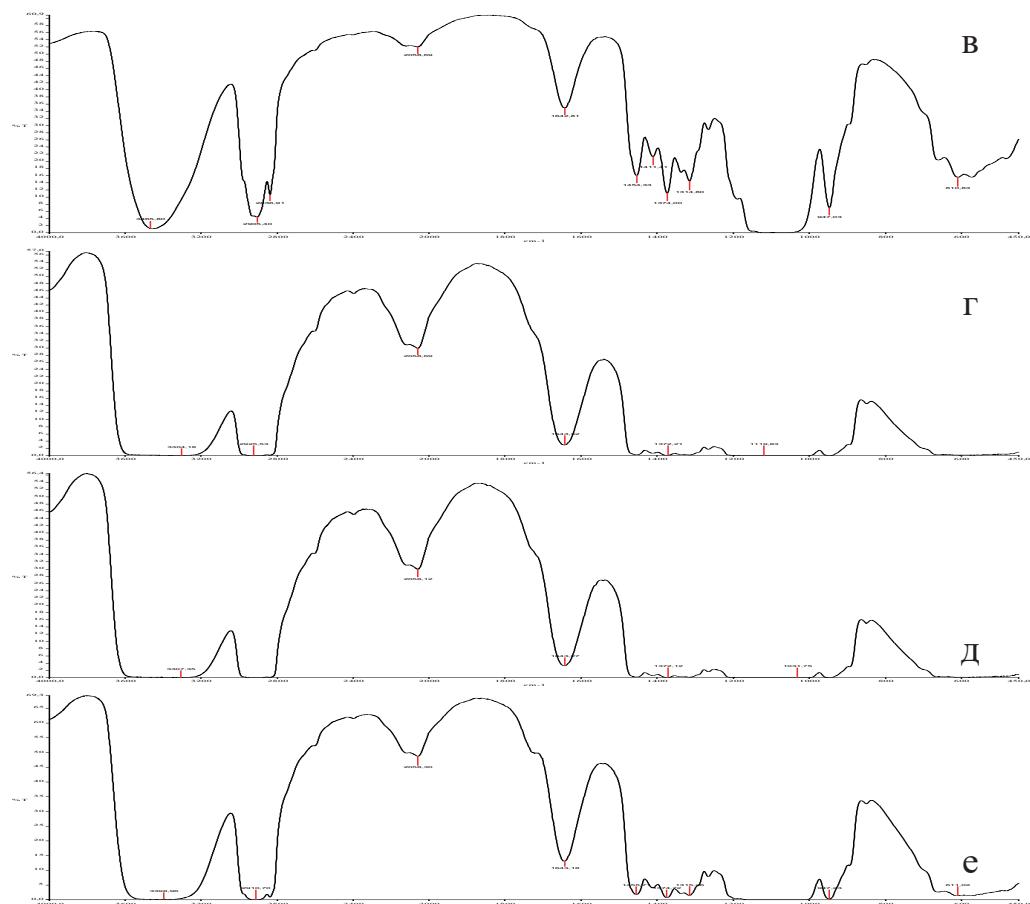


Согласно представленным схемам, радиационная энергия высокоионизирующего излучения поглощается всеми молекулами метилцеллюлозы, в результате молекулы переходят в возбужденное состояние. Возбужденные молекулы, в свою очередь, распадаются на свободные радикалы, что приводит к разрыву цепи по связям O-R и/или C-C. Радиационное разрушение макромолекул приводит к уменьшению степени сшивания синтезированного продукта и увеличению доли золь-фракции. При облучении метилцеллюлозы нарушается в основном упорядоченная система меж- и внутримолекулярных водородных связей (Kimura et. al., 2016). В результате гидроксильные группы притягиваются к менее стабильным водородным связям, что вызывает снижение жесткости цепи (из-за внутренних молекулярных водородных связей), а также снижается степень кристалличности материала. В боковых цепях МЦ радикалы могут участвовать в реакциях сшивания после облучения, что приводит к образованию макроскопического геля (Chmielewski et. al., 2005; Hennink et. al., 2002).

Далее был проведен анализ структуры и физико-химических свойств гель-фракции МЦ, полученных радиационным облучением. Для установления влияния радиационного облучения на структуру, в частности на сшивание гелей МЦ был проведен ИК-анализ полученных образцов (рисунок 5).

Рисунок 5 – Результаты ИК-спектроскопии гель-фракции гелей МЦ, полученных радиационным облучением. Дозы облучения: 0 (а); 20 (б); 40 (в); 60 (г); 80 (д); 100 (е) кГр

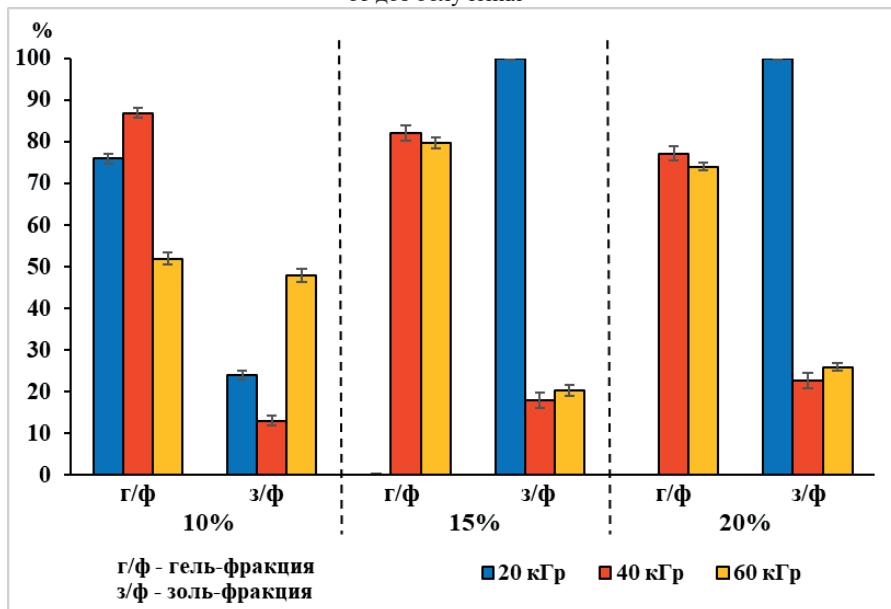




На ИК-спектрах сшитых гидрогелей МЦ наблюдаются пики в области 3304,18 - 3465,80 см⁻¹, которые могут быть интерпретированы как широкие колебания свободных гидроксильных групп и водородных связей. Полоса поглощения при 2836,91 - 2925,23 см⁻¹ полосы алифатических метокси- групп Alk-O-CH₃, а также полосы 2935,23 см⁻¹ можно интерпретировать, как колебание связей – CH₂ – в алканах. В представленных ИК-спектрах в области пиков 2058,12-2058,84 см⁻¹ наблюдаются валентные колебания C-H, а в области 1642,81 – 1643,32 см⁻¹ шестичленные циклы.

Далее в работе было изучено влияние концентрации исходных растворов эфиров целлюлозы на получение гелей методом радиационного облучения. Был проведен золь-гель анализ для образцов водных растворов МЦ с концентрацией 15 и 20%, обработанных 20-60 кГр. Результаты представлены в виде диаграмм для сравнительного анализа на рисунке 6.

Рисунок 6 – Результаты влияния концентрации МЦ на выход золь-гель фракции в зависимости от доз облучения



Как следует из рисунка 6, при повышении концентрации полисахарида 20 кГр недостаточно для получения сшитой структуры и формирование гель-фракции практически отсутствует. При увеличении дозы облучения повышение концентрации полисахарида в исходном растворе ведет к формированию гель-фракции в меньшем количестве по сравнению с 10%-м раствором, из чего можно предположить, что повышение концентрации полисахарида до 15% и 20% сопровождается преобладанием процесса деструкции по сравнению со сшиванием.

Одной из важнейших характеристик гелей является их набухающая способность, которая является основополагающим фактором при определении практического применения гелей. В связи с этим в работе изучено набухание гидрогелей, полученных путем радиационного облучения 10% растворов МЦ.

В данной работе были выбраны три разных растворителя для сравнения степени набухания МЦ: дистиллированная вода, 0,9% NaCl (физиологический раствор) и этиловый спирт, так как набухание геля зависит от природы растворителя и самого полимера. На рисунках 7-9 указаны результаты набухания гелей МЦ, полученных радиационным облучением.

Рисунок 7 – Кинетика набухания радиационно синтезированного геля МЦ в дистиллированной воде

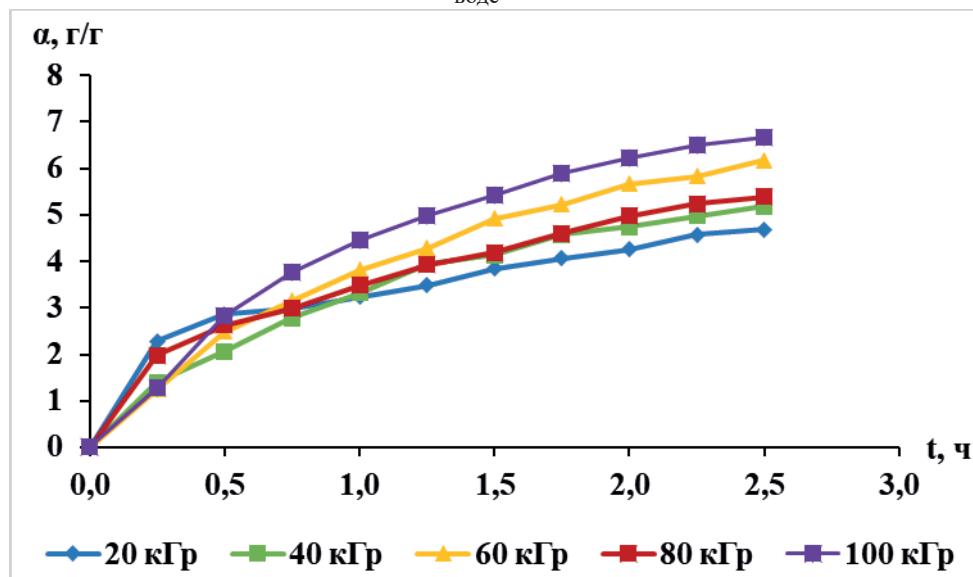


Рисунок 8 – Кинетика набухания радиационно синтезированного геля МЦ в этаноле

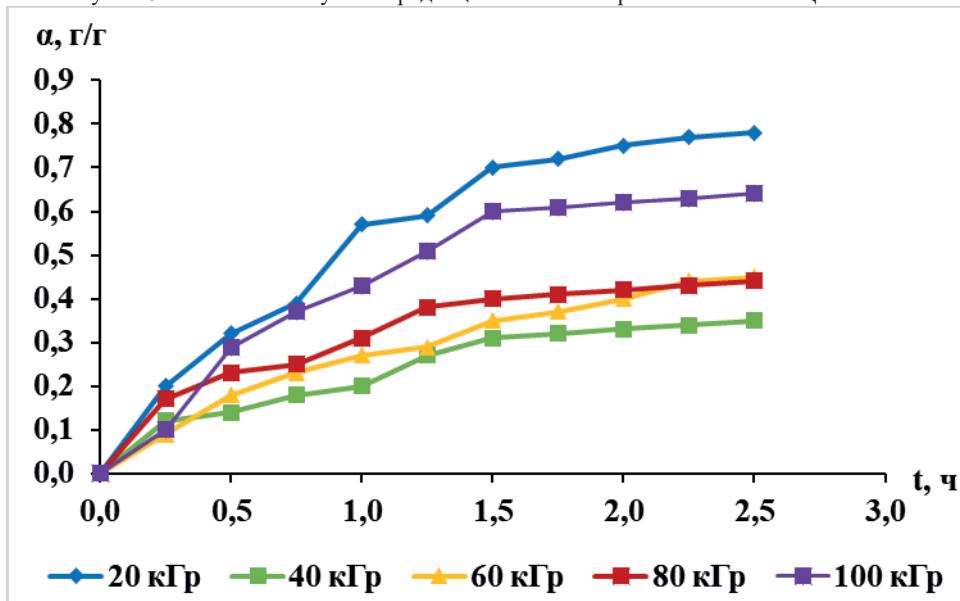
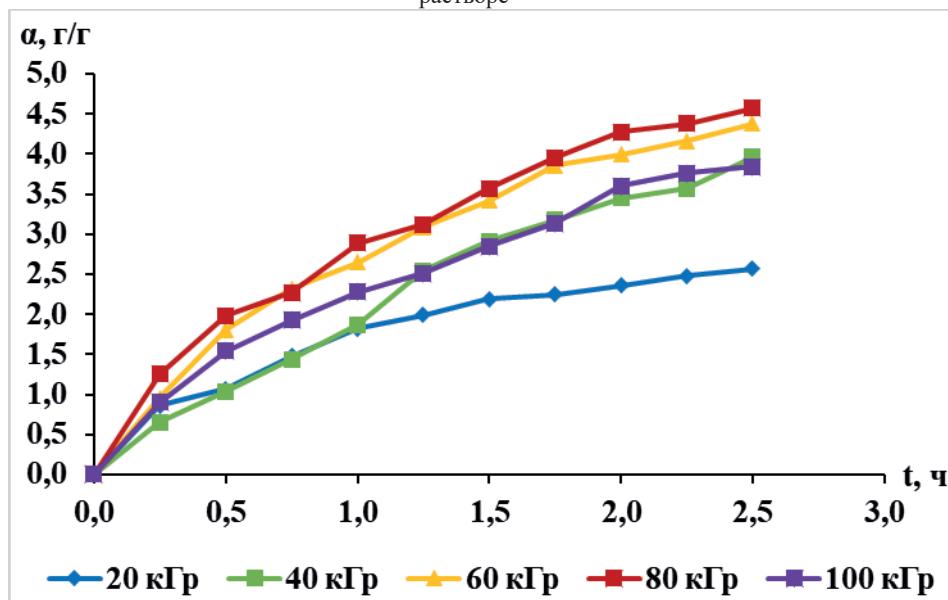


Рисунок 9 – Кинетика набухания радиационно синтезированного геля МЦ в физиологическом растворе

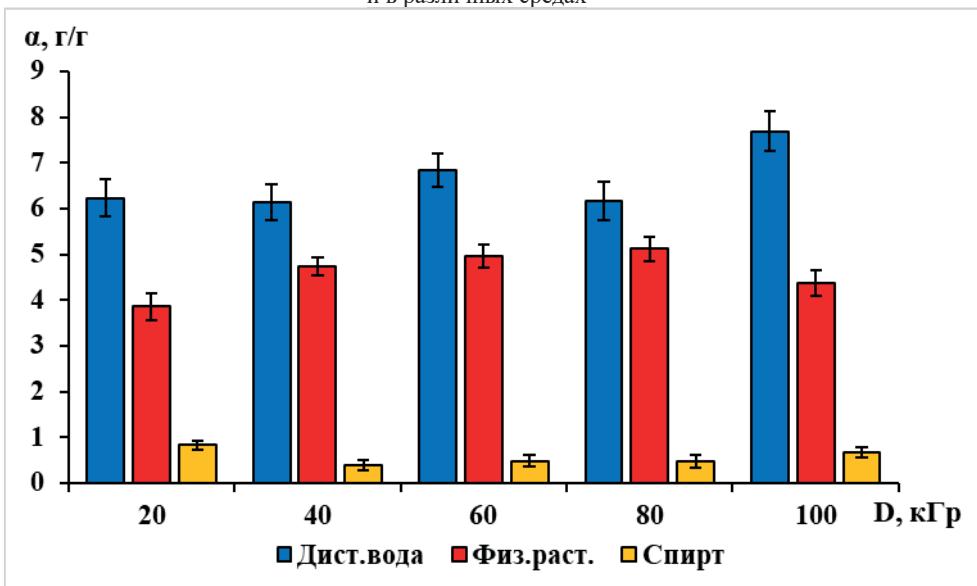


Из графиков по кинетике набухания следует единая закономерность для МЦ: гели обладают более высокой степенью набухания в воде и самыми низкими показателями набухания в этиловом спирте. Как отмечалось ранее, набухание геля зависит от природы растворителя и самого полимера, а точнее от отношения между собой компонентов в системе полимер-растворитель. Низкая полярность этилового спирта по отношению к эфирам целлюлозы обуславливает более низкую набухающую способность гелей на их основе в данном растворителе.

Высокая водопоглощающая способность гидрогелей обусловлена гидрофильными функциональными группами, присоединенными к полимерному основанию (Abad et. al., 2016). Набухание полученных гелей в физиологическом растворе наблюдается ниже, чем в воде, но выше чем в этиловом спирте. Также по графикам кинетики набухания гелей МЦ, представленных на рисунках 7-9, можно наблюдать постепенное набухание гелей в течение 2,5 часов. Данный факт можно объяснить наличием системы водородных связей между цепями полисахаридов, что влияет на взаимодействие в системе полимер-растворитель, а также в системах полимер-полимер и растворитель-растворитель. При набухании происходит постепенное разрушение данных водородных связей с последующим усилением взаимодействия полимер-растворитель.

Для детального анализа и сравнения между собой набухающей способности гелей радиационно облученной МЦ, была измерена степень набухания гелей полисахарида по истечению 48 часов, то есть равновесная степень набухания гелей. Результаты сравнительного анализа представлены в виде диаграммы на рисунке 10.

Рисунок 10 – Равновесная степень набухания гидрогелей МЦ 10% при разных дозах облучения и в различных средах



Как следует из диаграммы, представленной на рисунке 10, можно сделать вывод, что с повышением дозы облучения увеличивается значение равновесной степени набухания гелей МЦ. Данный факт можно объяснить образованием более прочной сетки в гель-фракции гелей полисахарида. Но при этом значения равновесной степени набухания не сильно разнятся и практически лежат в одном диапазоне для всех значений дозы облучения для каждого вида растворителя. Например, равновесная степень набухания в воде гелей МЦ, синтезированных в интервале от 20 до 100 кГр, колеблется в диапазоне от 6,24 до 7,69 г/г. Это свидетельствует об образовании трехмерно сплошной сетки гидрогеля полисахарида практически с одинаковой плотностью сшивки. Из этого следует, что доза облучения практически не влияет на плотность сшивки полученных гелей. При облучении МЦ на начальном этапе происходит ионизация полимера по O-R связям, что приводит к сшивке полимера. Дальнейшее увеличение дозы облучения до 80-100 кГр приводит к разрыву C-C связи в основной цепи полимера, что в дальнейшем способствует деструкции полисахарида. В результате увеличивается выход золь-фракции, что коррелирует с результатами золь-гель анализа (рисунок 1).

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать вывод, что доза облучения 20 кГр является недостаточной для полученияочно сплошных гелей с высоким выходом при синтезе, способных к более интенсивному набуханию. Кроме того, можно сделать вывод, что использование доз 80-100 кГр, является экономически не выгодным, несмотря на высокие показатели степени набухания. Таким образом, оптимальными дозами для облучения эфиров целлюлозы является 40-60 кГр.

Заключение. В работе были получены гели на основе метилцеллюлозы путем радиационного облучения ускоренными электронами при дозах от 20 до 100 кГр. Получение трехмерной сшитой сетки в результате радиационного обработки было изучено и доказано с помощью золь-гель анализа, вискозиметрии и ИК-спектроскопии. По результатам золь-гель анализа установлено протекание двух конкурирующих реакций: реакции сшивания и деструкции при радиационном облучении водного раствора МЦ. Сшивание макромолекул МЦ в водном растворе под радиационным облучением происходит за счет разрыва связи O-R в заместителе эфиров целлюлозы, а деструкция полимерной матрицы – за счет разрыва C-C связей вдоль цепи из-за неравномерного распределения энергии излучения. При высоких значениях дозы облучения, и соответственно повышения температуры в системе, выход гель-фракции снижается из-за фазового расслоения водного раствора МЦ на более концентрированную и разбавленные фазы за счет наличия НКТР. Определено влияние концентрации полисахарида на выход гель фракций метилцеллюлозы путем радиационного облучения. Повышение концентрации полисахарида в исходном растворе ведет к снижению доли гель-фракции, из чего можно предположить о возможном преобладании процесса деструкции при данных условиях. Из результатов анализа степени набухания гелей МЦ следует, что доза облучения практически не влияет на плотность сшивки полученных гелей. При этом гели МЦ показали более высокую набухающую способность в воде, чем в этаноле, что объясняется характером взаимодействия полимер-растворитель.

References

- Ershov B.G. (1998) Radiacionno-himicheskaya destrukciya cellyulozy i drugih polisaharidov [Radiation-chemical destruction of cellulose and other polysaccharides]. Uspekhi himii [Advances in Chemistry], 67(4). — P. 353-375. (in Russian)
- Abad L.V., Al-Assaf S., Coqueret X., Duarte C., Kume T., Lacroix M., Zaman K., Sáfrány Á., Sen M., Tahtat D., Ulanski P. (2016) The Radiation Chemistry of Polysaccharides. Vienna: International Atomic Energy Agency. — P. 485 ISBN:978-92-0-101516-7. (in English)
- Ashfaq A., Clochard M.C., Coqueret X., Dispenza C., Driscoll M.S., Ulański P., Al-Sheikhly M. (2020) Polymerization reactions and modifications of polymers by ionizing radiation. Polymers, 12(12). — P. 2877. DOI: 10.3390/polym12122877. (in English)
- Behr M., Rosentritt M., Faltermeier A., Handel G. (2005) Electron beam irradiation of denture base materials. Journal of Materials Science: Materials in Medicine, 16(2). — P. 175-181. DOI: 10.1007/s10856-005-5905-y. (in English)
- Chmielewski A.G., Haji-Saeid M., Ahmed S. (2005) Progress in radiation processing of polymers. Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms, 236(1). — P. 44-54. DOI: 10.1016/j.nimb.2005.03.247. (in English)
- Fei B., Wach R.A., Mitomo H., Yoshii F., Kume T. (2000) Hydrogel of biodegradable cellulose derivatives. I. Radiation-induced crosslinking of CMC. Journal of Applied Polymer Science, 78(2). — P. 278-283. DOI: 10.1002/1097-4628(20001010)78:2<278::AID-APP60>3.0.CO;2-9. (in English)
- Furusawa K., Dobashi T., Morishita S., Oyama M., Hashimoto T., Shinyashiki N., Yagihara S., Nagasawa N. (2005) Structural and kinetic modification of aqueous hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) induced by electron beam irradiation. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 353. — P. 9-20. DOI: 10.1016/j.physa.2004.12.068. (in English)
- Haji-Saeid M., Safrany A., Sampa M.H. de O., Ramamoorthy N. (2010) Radiation processing of natural polymers: The IAEA contribution. Radiation Physics and Chemistry, 79(3). —P. 255-260. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2009.11.001. (in English)

- Henniges U., Hasani M., Potthast A., Westman G., Rosenau T. (2013) Electron beam irradiation of cellulosic materials-opportunities and limitations. *Materials*, 6(5). —P. 1584-1598 DOI: 10.3390/ma6051584. (in English)
- Hennink W.E., van Nostrum C.F. (2002) Novel crosslinking methods to design hydrogels. *Adv. Drug Deliv. Rev.*, 54(1). — P. 13-36 DOI: 10.1016/s0169-409x(01)00240-x. (in English)
- Kim S.M., Fan H., Cho Y.J., Eo M.Y., Park J.H., Kim B.N., Lee B.C., Lee S.K. (2015) Electron beam effect on biomaterials I: Focusing on bone graft materials. *Biomaterials Research.*, 19, 10. DOI: 10.1186/s40824-015-0031-5. (in English)
- Kimura A., Nagasawa N., Shimada A., Taguchi M. (2016) Crosslinking of polysaccharides in room temperature ionic liquids by ionizing radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 124. —P. 130-134 DOI: 10.1016/j.radphyschem.2015.10.025. (in English)
- Mohammad Padzil F.N., Gan S., Zakaria S., Mohamad S.F., Mohamed N.H., Seo Y.B., Ellis A. V. (2018) Increased solubility of plant core pulp cellulose for regenerated hydrogels through electron beam irradiation. *Cellulose*, 25. — P. 4993-5006. DOI: 10.1007/s10570-018-1933-x. (in English)
- Nouh S.A., Mohamed A., El Hussieny H.M. (2009) Thermal and optical properties of electron beam irradiated Cellulose triacetate. *Indian Journal of Physics*, 83(6). — P. 813-819. DOI: 10.1007/s12648-009-0031-1. (in English)
- Raghu S., Kilarkaje S., Sanjeev G., Nagaraja G.K., Devendrappa H. (2014) Effect of electron beam irradiation on polymer electrolytes: Change in morphology, crystallinity, dielectric constant and AC conductivity with dose. *Radiation Physics and Chemistry*, 98. — P. 124-131. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2014.01.024. (in English)
- Rosiak J.M., Ulański P. (1999) Synthesis of hydrogels by irradiation of polymers in aqueous solution. *Radiation Physics and Chemistry*, 55(2). — P. 139-151. DOI: 10.1016/S0969-806X(98)00319-3. (in English)
- Shin H.K., Park M., Kang P.H., Rhee K.Y., Park S.J. (2015) Role of electron beam irradiation on superabsorbent behaviors of carboxymethyl cellulose. *Research on Chemical Intermediates*, 41(9). — P. 6815-6823. DOI: 10.1007/s11164-014-1779-2. (in English)
- Wach R.A., Mitomo H., Yoshii F. (2004) ESR investigation on gamma-irradiated methylcellulose and hydroxyethylcellulose in dry state and in aqueous solution. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 261. — P. 113-118. DOI: 10.1023/B:JRNC.0000030943.48622.33. (in English)
- Wach R.A., Rokita B., Bartoszek N., Katsumura Y., Ulanski P., Rosiak J.M. (2014) Hydroxyl radical-induced crosslinking and radiation-initiated hydrogel formation in dilute aqueous solutions of carboxymethylcellulose. *Carbohydrate Polymers*, 112. — P. 412-415. DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.06.007. (in English)
- Yoo Y.J., Um I.C. (2013) Examination of thermo-gelation behavior of HPMC and HEMC aqueous solutions using rheology. *Korea Australia Rheology Journal*, 25(2). — P. 67-75. DOI: 10.1007/s13367-013-0007-8. (in English)

**Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP**

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

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

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

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

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

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the Central Asian Academic Research Center LLP.

The Editorial Board of the Central Asian Academic Research Center LLP will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

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

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

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 29.09.2025.

Формат 60x88^{1/8}, 18,0 пл.

Заказ 3.