

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF CHEMISTRY**

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

**№2
2026**

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



ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

2 (467)

APRIL – JUNE 2026

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY

Editor in chief:

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

Editorial board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

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

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

Periodicity: 4 times a year.

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

© «Central Asian Academic Research Center» LLP, 2026

Бас редактор:

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

Редакция алқасы:

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

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

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

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

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

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

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

ТЕЛТАЕВ Бағдат Бұрханбайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

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

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

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

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

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

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

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

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

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

Периодичность: 4 раз в год.

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

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

Главный редактор:

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

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY»

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Меншіктенуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы қ.).

Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 05.06.2025 ж. берілген № KZ23VPY00121156 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *органикалық химия, бейорганикалық химия, катализ, электрохимия және коррозия, фармацевтикалық химия және технологиялар.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

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

© «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС, 2026

CONTENTS

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

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

МАЗМҰНЫ

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

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

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

© Zamanbekova A.T.¹, Talgatov E.T.¹, Jumekeyeva A.I.¹, Akhmetova S.N.¹,
Saryuisin S.N.^{1,2*}, 2026.

¹ «D.V. Sokolsky Institute of fuel, catalysis and electrochemistry» JSC,
Almaty, Kazakhstan;

² Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: Saryuisin.sn@gmail.com

SORPTION PROPERTIES OF TITANIUM DIOXIDE TOWARD POLYMER MODIFIERS OF DIFFERENT NATURE

Zamanbekova Aigul — Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Organic Catalysis,

D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: zamanbekova@bk.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4129-0190>;

Talgatov Eldar — PhD, associated professor, Head of the laboratory of Organic catalysis, D.V.Sokolsky Institute of fuel, catalysis and electrochemistry JSC, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: e.talgatov@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8153-4765>;

Jumekeyeva Aigul — Candidate of Chemical Sciences, Senior researcher of the laboratory of Organic catalysis, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry JSC, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: jumekeyeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8084-6070>;

Akhmetova Sandugash — PhD, Researcher of the Laboratory of Organic Catalysis, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: sn.akhmetova@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1048-2640>;

Saryuisin Saniya — PhD Doctoral Student of Abai Kazakh National Pedagogical University; Leading Engineer of the Laboratory of Organic Catalysis, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: Saryuisin.sn@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-1464-3926>.

Abstract. In this work, the sorption properties of titanium dioxide (TiO₂) toward polymer modifiers of different chemical nature were investigated in order to obtain hybrid organic–inorganic composite materials with tunable surface characteristics. Surface modification of TiO₂ with macromolecules makes it possible to purposefully alter the acid–base properties, interfacial interactions, and structural parameters of the support, thereby expanding its potential practical applications. Chitosan (Chit), pectin (Pec), and poly-4-vinylpyridine (P4VP), differing in functional composition and the nature of active groups, were used as polymer modifiers. The composites were prepared by introducing 1% polymer solutions into an aqueous TiO₂ suspension at room temperature, followed by aging, precipitate separation, washing, and drying.

The amount of adsorbed polymer was determined by a viscometric method based on changes in the viscosity of the mother solution before and after sorption. Additional information on the interaction mechanism was obtained using FTIR spectroscopy. It was established that the degree of polymer immobilization strongly depends on the chemical nature of the macromolecule. The highest adsorption was observed for chitosan (98.6%), indicating nearly quantitative immobilization of the polymer on the TiO₂ surface. The immobilization degree for P4VP was 80.3%, whereas for pectin it was 30%. FTIR spectroscopic data confirmed the involvement of functional groups (-NH₂, C-N, C=O) in interactions with the acid–base surface centers of TiO₂. The obtained results demonstrate a pronounced dependence of the sorption properties of titanium oxide on the nature of the polymer and provide a basis for the development of functional polymer-modified materials.

Keywords: titanium dioxide, polymer, sorption, chitosan, poly-4-vinylpyridine, pectin

Financing. *This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP26199261).*

For citations: Zamanbekova A.T., Talgatov E.T., Jumekeyeva A.I., Akhmetova S.N., Saryuisin S.N. Sorption properties of titanium dioxide toward polymer modifiers of different nature. Academic Scientific Journal of Chemistry, 2026. — No.2. — P.145-160. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1491.369>

© Заманбекова А.Т.¹, Талғатов Э.Т.¹, Джумекеева А.И.¹, Ахметова С.Н.¹, Сарыүйсін С.Н.^{1,2*}, 2026.

¹ «Д.В.Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан;

² «Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті» КЕАҚ, Алматы, Қазақстан.

E-mail: Saryuisin.sn@gmail.com

ТАБИҒАТЫ ӘРТҮРЛІ ПОЛИМЕРЛІК МОДИФИКАТОРЛАРҒА ҚАТЫСТЫ ТИТАН ДИОКСИДІНІҢ СОРБЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

Заманбекова Айгүл — химия ғылымдарының кандидаты, органикалық катализ зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, «Д.В.Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: zamanbekova@bk.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4129-0190>;

Талғатов Эльдар — PhD, қауым. профессор, Органикалық катализ зертханасының жетекшісі, «Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: e.talgatov@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8153-4765>;

Джумекеева Айгүл — химия ғылымдарының кандидаты, органикалық катализ зертханасының аға ғылыми қызметкері,

«Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: jumekeeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8084-6070>;

Ахметова Сандугаш — PhD, органикалық катализ зертханасының ғылыми қызметкері, «Д.В. Сокольский тындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: sn.akhmetova@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1048-2640>;

Сарыүйсін Сәния — Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті PhD докторанты; органикалық катализ зертханасының жетекші инженері, «Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: Saryuisin.sn@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-1464-3926>.

Аннотация. Бұл жұмыста реттелетін беттік сипаттамалары бар гибриді органикалық-бейорганикалық композициялық материалдарды алу мақсатында титан диоксидінің (TiO_2) әртүрлі химиялық табиғаттағы полимерлік модификаторларға қатысты сорбциялық қасиеттері зерттелді. TiO_2 бетін макромолекулалармен модификациялау тасымалдағыштың қышқыл-негіздік қасиеттерін, фазалар арасындағы әрекеттесулерін және құрылымдық параметрлерін мақсатты түрде өзгертуге мүмкіндік береді, бұл оның практикалық қолдану аясын кеңейтеді. Полимер ретінде функционалдық құрамы мен белсенді топтарының табиғаты бойынша ерекшеленетін хитозан (Хит), пектин (Пек) және поли-4-винилпиридин (П4ВП) қолданылды. Композиттерді алу үшін полимерлердің 1%-дық ерітінділері бөлме температурасында TiO_2 -нің сулы суспензиясына енгізіліп, кейін қоспа белгілі уақыт ұсталып, тұнба бөлініп алынып, жуылып және кептірілді. Адсорбцияланған полимер мөлшері сорбцияға дейінгі және кейінгі аналық ерітіндінің тұтқырлығының өзгеруі бойынша вискозиметриялық әдіспен анықталды. Әрекеттесу сипаты туралы қосымша мәліметтер ИҚ-спектроскопия әдісі арқылы алынды. Полимердің бекітілу дәрежесі макромолекуланың химиялық табиғатына едәуір тәуелді екені анықталды. Ең жоғары адсорбция хитозан үшін байқалды (98,6%), бұл полимердің TiO_2 бетінде іс жүзінде толық иммобилизацияланғанын көрсетеді. П4ВП үшін бекітілу дәрежесі 80,3%, ал пектин үшін 30% құрады. ИҚ-спектроскопиялық деректер ($-\text{NH}_2$, $\text{C}-\text{N}$, $\text{C}=\text{O}$) функционалдық топтарының TiO_2 бетінің қышқыл-негіздік орталықтарымен әрекеттесуге қатысатынын растады. Алынған нәтижелер титан оксидінің сорбциялық қасиеттерінің полимер табиғатына айқын тәуелділігін көрсетеді және функционалдық полимер-модификацияланған материалдарды әзірлеуге негіз болады.

Түйін сөздер: титан диоксиді, полимер, сорбция, хитозан, поли-4-винилпиридин, пектин

©Заманбекова А.Т. ¹, Талгатов Э.Т. ¹, Джумекеева А.И. ¹, Ахметова С.Н. ¹,
Сарыүйсін С.Н. ^{1,2*}, 2026.

¹ АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского»,
Алматы, Казахстан;

² Казахский национальный педагогический университет имени Абая,
Алматы, Казахстан.

E-mail: Saryuisin.sn@gmail.com

СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДИОКСИДА ТИТАНА ПО ОТНОШЕНИЮ К ПОЛИМЕРНЫМ МОДИФИКАТОРАМ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

Заманбекова Айгуль — кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории органического катализа АО «Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан,

E-mail: zamanbekova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4129-0190>;

Талгатов Эльдар — PhD, ассоциированный профессор, заведующий лабораторией органического катализа АО «Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан,

E-mail: e.talgatov@ifce.kz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8153-4765>;

Джумекеева Айгуль — кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории органического катализа АО «Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан,

E-mail: jumekeeva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8084-6070>;

Ахметова Сандугаш — PhD, научный сотрудник лаборатории органического катализа АО «Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан,

E-mail: sn.akhmetova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1048-2640>;

Сарыүйсін Сания — PhD докторант Казахского национального педагогического университета имени Абая; ведущий инженер лаборатории органического катализа АО «Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан,

E-mail: saryuisin.sn@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1464-3926>.

Аннотация: В работе исследованы сорбционные свойства диоксида титана (TiO₂) по отношению к полимерным модификаторам различной химической природы с целью получения гибридных органо-неорганических композиционных материалов с регулируемыми поверхностными характеристиками. Поверхностная модификация TiO₂ макромолекулами позволяет целенаправленно изменять кислотно-основные свойства, межфазные взаимодействия и структурные параметры носителя, что расширяет возможности его практического применения. В качестве полимерных модификаторов использованы хитозан, пектин и поли-4-винилпиридин, различающиеся функциональным составом и природой активных групп. Композиты получали путём введения 1%-ных растворов полимеров в водную суспензию TiO₂ при комнатной температуре с последующим выдерживанием, отделением осадка, промывкой и сушкой. Количество адсорбированного полимера определяли вискозиметрическим методом по изменению вязкости исходного раствора до и после сорбции. Дополнительную информацию о характере взаимодействия получали методом ИК-спектроскопии. Установлено, что степень закрепления полимеров существенно зависит от их химической

природы. Максимальная адсорбция характерна для хитозана и составляет 98,6 %, что свидетельствует о практически полной иммобилизации полимера на поверхности TiO_2 . Для поли-4-винилпиридина степень закрепления составила 80,3 %, тогда как для пектина - около 30 %. Результаты ИК-спектроскопического анализа подтвердили участие функциональных групп ($-\text{NH}_2$, $\text{C}-\text{N}$ и $\text{C}=\text{O}$) во взаимодействии с кислотно-основными центрами поверхности диоксида титана. Полученные результаты демонстрируют выраженную зависимость сорбционных свойств TiO_2 от природы полимерного модификатора и создают научную основу для разработки новых функциональных полимер-модифицированных материалов.

Ключевые слова: диоксид титана, сорбция, полимерные модификаторы, хитозан, пектин, поли-4-винилпиридин, гибридные материалы, ИК-спектроскопия

Введение. В рамках современной парадигмы «зеленой химии» и устойчивого технологического развития одной из наиболее приоритетных задач материаловедения является создание многофункциональных гибридных материалов для сорбции, гетерогенного катализа и экологии. Среди широкого спектра неорганических матриц особое место занимает диоксид титана (TiO_2), что обусловлено его термической и химической стабильностью, нетоксичностью, развитой удельной поверхностью и уникальными полупроводниковыми свойствами (Zhang et al., 2014). Также диоксид титана является одним из наиболее востребованных оксидных материалов благодаря амфотерной природой поверхности, обусловленной наличием гидроксильных групп $\equiv\text{Ti}-\text{OH}$, способных к протонированию и депротонированию в водных растворах (Zhang et al., 2009). В зависимости от pH среды на поверхности могут формироваться положительно заряженные ($\equiv\text{TiOH}_2^+$) или отрицательно заряженные ($\equiv\text{TiO}^-$) центры, что определяет адсорбционные свойства оксида. Точка нулевого заряда (pH_{pzc}) для TiO_2 , согласно литературным данным, находится в диапазоне pH 5-6 для анатазной формы (Kartal et al., 2016). Вблизи этого значения поверхность является электрически нейтральной, тогда как при $\text{pH} < \text{pH}_{\text{pzc}}$ она приобретает положительный заряд, а при $\text{pH} > \text{pH}_{\text{pzc}}$ - отрицательный. Это обстоятельство играет ключевую роль в процессах взаимодействия с ионогенными полимерами, содержащими аминные, карбоксильные и гетероциклические функциональные группы.

Индивидуальный диоксид титана является эффективным фотокатализатором и адсорбентом, однако его практическое применение в ряде процессов ограничивается недостаточной селективностью по отношению к целевым соединениям и фиксированным характером поверхностных функциональных центров. В связи с этим значительный интерес представляет направленная модификация поверхности TiO_2 органическими молекулами и полимерами, позволяющая регулировать кислотно-основные свойства, поверхностный заряд и адсорбционные характеристики материала (Dahl et al., 2014; Haghighi et al., 2023).

Модифицирование поверхности оксидов макромолекулами позволяет синергетически объединить механическую и химическую стабильность неорганической матрицы с гибкостью, технологичностью и функциональным разнообразием полимерной фазы (Kickelbick, 2007). Адсорбированный полимерный слой способен существенно изменять поверхностный заряд, межчастичные взаимодействия, сорбционные характеристики и коллоидную стабильность дисперсных систем, что открывает возможности для целенаправленного регулирования свойств гибридных материалов (González García et al., 2019; Schubert J., Chanana M., 2019).

Фундаментом межфазных процессов на границе раздела «TiO₂ – водный раствор» является гидроксильный покров оксида. Поверхностные титанольные группы ($\equiv \text{Ti}-\text{OH}$) обладают амфотерными свойствами и способны вовлекаться в обратимые процессы протонирования и депротонирования в зависимости от кислотности среды. Электроповерхностные свойства и смещение равновесий между центрами $\equiv \text{TiOH}_2^+$, $\equiv \text{TiOH}$ и $\equiv \text{TiO}^-$ определяют знак и величину термодинамического потенциала поверхности, что критически важно при адсорбции ионогенных полимеров (Niemstra T., Van Riemsdijk W.H., 1996). Изменение pH раствора позволяет гибко управлять интенсивностью кулоновских сил при взаимодействии с макромолекулами, содержащими кислотные или основные группы.

Среди многообразия модификаторов поверхности оксидов металлов значительный интерес представляют природные биополимеры, содержащие реакционноспособные функциональные группы. Особое место занимает хитозан – линейный полисахарид, содержащий первичные аминогруппы и гидроксильные фрагменты, способные участвовать в электростатических, координационных и водородных взаимодействиях с поверхностными центрами оксидов металлов (Rinaudo, 2006). Благодаря высокой плотности аминогрупп хитозан широко используется для модификации неорганических носителей и получения функциональных сорбентов.

Другим перспективным природным полимером является пектин, содержащий карбоксильные группы, способные к ионному обмену, комплексообразованию и координационному взаимодействию с металлическими центрами поверхности. Наличие большого количества кислородсодержащих функциональных групп обеспечивает возможность формирования устойчивых межфазных взаимодействий с оксидными материалами и регулирования их сорбционных свойств (Sriamornsak, 2003).

Параллельно с биополимерами для модификации оксидных материалов активно используются синтетические азотсодержащие макромолекулы, среди которых особый интерес представляет поли-4-винилпиридин (П4ВП). Наличие пиридинового атома азота придает данному полимеру свойства слабого полиоснования и обеспечивает его способность к протонированию, комплексообразованию и донорно-акцепторным взаимодействиям с поверхностными центрами неорганических материалов (Mavronasou et al.,

2022). Благодаря этим свойствам П4ВП широко используется при создании функциональных сорбентов, мембран и гибридных органо-неорганических композитов. Использование полимеров, содержащих аминогруппы (хитозан), карбоксильные группы (пектин) и пиридиновые фрагменты (П4ВП), позволяет провести сравнительный анализ влияния природы функциональных групп на процессы адсорбции и закрепления макромолекул на амфотерной поверхности диоксида титана.

Несмотря на интенсивное развитие этой области, в современной литературе наблюдается дефицит прямых сравнительных исследований, в которых адсорбционное поведение природных и синтетических полимеров исследовалось бы на одной и той же матрице диоксида титана в идентичных физико-химических условиях. Большинство имеющихся работ сфокусировано на изучении индивидуальных бинарных систем, что затрудняет установление общих закономерностей влияния природы функциональных групп на термодинамические параметры закрепления полимерных цепей.

Целью настоящей работы является установление общих закономерностей и физико-химических механизмов адсорбционного модифицирования диоксида титана (TiO_2) полимерными агентами различной химической природы (хитозаном, пектином и поли-4-винилпиридином), а также комплексное исследование структурно-морфологических свойств и термической стабильности формируемых гибридных композиционных материалов.

Литературный обзор. В последние годы диоксид титана рассматривается не только как фотокаталитический материал, но и как универсальный носитель для создания гибридных органо-неорганических систем. Высокая удельная поверхность, химическая стабильность, нетоксичность и возможность формирования развитой системы поверхностных гидроксильных групп обуславливают его широкое применение в сорбционных технологиях, катализе, медицине и создании функциональных покрытий. Согласно обзору (Dahl et al., 2014), поверхность TiO_2 может быть целенаправленно модифицирована органическими молекулами и полимерами, что позволяет регулировать гидрофильность, кислотно-основные свойства и способность к селективному связыванию различных соединений.

Особый интерес представляет модификация диоксида титана природными и синтетическими полимерами. Полимерные оболочки способны изменять поверхностный заряд, предотвращать агрегацию частиц и создавать дополнительные активные центры сорбции. По данным (Haghighi et al., 2023), закрепление органических молекул на поверхности TiO_2 приводит к существенному изменению межфазных взаимодействий и расширяет область применения материала в биомедицинских и экологических технологиях. Одним из наиболее изученных природных полимеров является хитозан. Благодаря наличию первичных аминогрупп он способен эффективно взаимодействовать с поверхностью оксидов металлов посредством электростатических взаимодействий, водородных связей и координационных механизмов. В обзоре

(Vakili et al., 2014) показано, что хитозан обладает высокой сорбционной способностью по отношению к красителям, ионам тяжелых металлов и органическим загрязнителям, а его эффективность определяется степенью протонирования аминогрупп и структурой полимерной цепи. Аналогичные выводы представлены (Ahmed and Ikram, 2015), которые отмечают, что наличие аминогрупп обеспечивает высокую адгезию хитозана к поверхности различных оксидов и

способствует формированию устойчивых композитов.

При взаимодействии хитозана с TiO_2 важную роль играет кислотно-основное состояние поверхности оксида. Согласно данным (Xiao et al., 2020), поверхностные гидроксильные группы являются эффективными центрами связывания электронодонорных соединений, содержащих атомы азота и кислорода. В результате могут образовываться

устойчивые поверхностные комплексы, обеспечивающие прочное закрепление макромолекул на носителе.

Другим перспективным биополимером является пектин, представляющий собой природный полисахарид, содержащий значительное количество карбоксильных групп. Благодаря наличию функциональных групп пектин способен участвовать в процессах комплексообразования и ионного обмена. По данным (Tortorella et al., 2021), карбоксильные группы пектина активно взаимодействуют с поверхностью неорганических материалов, однако эффективность закрепления во многом зависит от степени этерификации и pH среды. Высокая гидратация макромолекул пектина может ограничивать эффективность его адсорбции на оксидных поверхностях вследствие стерических факторов и конкуренции с молекулами растворителя.

Среди синтетических полимеров значительный интерес представляет поли-4-винилпиридин. Наличие пиридинового атома азота придает полимеру выраженные основные свойства и способность к протонированию в кислой среде. Согласно данным (Mavronasou et al., 2022), образование катионов пиридиния существенно влияет на процессы межмолекулярного взаимодействия и сорбционные характеристики материала. Благодаря этому поли-4-винилпиридин широко используется при создании сорбентов, мембран и функциональных покрытий. Особенности взаимодействия азотсодержащих полимеров с поверхностью оксидов металлов подробно рассмотрены в работе (Carvalho et al., 2024), где показано, что донорные свойства атомов азота способствуют образованию координационных связей с поверхностными центрами металлооксидов. Подобные механизмы могут реализовываться и при взаимодействии поли-4-винилпиридина с поверхностью диоксида титана.

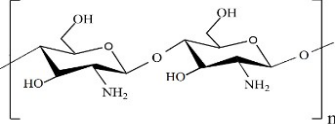
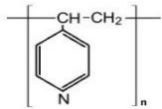
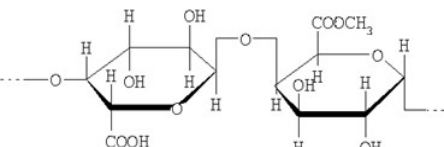
Следует отметить, что эффективность закрепления полимеров определяется не только природой функциональных групп, но и структурными особенностями поверхности самого оксида. В работе (Zhou et al. 2013) показано, что размер частиц, степень агрегации и морфология нанокристаллов TiO_2 оказывают существенное влияние на доступность активных центров и сорбционную

емкость материала. При уменьшении размеров частиц возрастает удельная поверхность и увеличивается количество поверхностных гидроксильных групп, что способствует усилению взаимодействия с полимерными модификаторами.

С точки зрения современной теории поверхностного комплексообразования взаимодействие макромолекул с поверхностью диоксида титана рассматривается как результат сочетания электростатических сил, водородного связывания и образования внутренних координационных комплексов. Согласно работе (Vlasova и Markitan, 2019), вклад каждого из перечисленных механизмов зависит от природы функциональных групп сорбируемого вещества и кислотно-основных характеристик поверхности оксида. Поэтому изучение закономерностей сорбции полимеров различной химической природы представляет значительный интерес как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения.

Материалы и методы. Реактивы и материалы: TiO_2 (титан(IV) оксид, частицы ~25 нм), поли-4-винилпиридин (П4ВП, MW = 60000, Sigma-Aldrich, США), хитозан (Хит, степень деацетилирования $\geq 75\%$, MW = 250 000, Sigma-Aldrich, США), пектин (Пектин из яблок, степень этерификации 50–75%, Sigma Aldrich, США). Структурные формулы полимеров приведены в следующей таблице (таблица 1).

Таблица 1 – Структурные формулы полимеров

Полимеры	Формула
Хитозан	
Поли-4-винилпиридин (П4ВП)	
Пектин	

Приготовление рабочих растворов. В водную суспензию TiO_2 (1 г/10 мл воды) при комнатной температуре добавляли 1%-ный раствор полимера с последующим перемешиванием 2 ч. Образовавшийся осадок отделяли центрифугированием, промывали водой и сушили на воздухе. Количество вводимого раствора рассчитывали для получения композита с содержанием 10 мас.% полимера. Растворы полимеров готовили следующим образом: Хитозан (1 г) растворяли в 100 мл 1%-ном растворе HNO_3 при 60°C ; пектин (1 г) - в 100 мл воде при 60°C ; П4ВП (1 г) - в 100 мл этаноле при комнатной температуре при перемешивании 4 ч. Содержание закреплённого полимера определяли вискозиметрическим методом

с использованием градуировочного графика. ИК-спектры регистрировали в диапазоне 4000–400 см^{-1} (Socrates et al., 2001).

Результаты и обсуждение. Композиты (Хит- TiO_2 , П4ВП- TiO_2 и Пек- TiO_2) были получены методом адсорбции. Степень адсорбции пектина, хитозана и поли-4-винилпиридина определяли вискозиметрическим методом с применением градуировочного графика на вискозиметре ВПЖ-2 в криостатической ячейке КРИОВИСТ-01 при температуре $20 \pm 0,1$. Были построены калибровочные кривые полимеров. По разнице количества полимера в маточном растворе до и после закрепления определяли их массу в композите (таблица 2). Для системы Хит- TiO_2 маточный раствор после синтеза, в отличие от других систем был мутным. После доведения pH до 7,5 раствором 0,25 М NaOH образовывался набухший осадок, а надосадочная жидкость становилась прозрачной. Вискозиметрическое измерение надосадочного раствора композита Хит- TiO_2 показало отсутствие полимера, что свидетельствует о практически полном закреплении хитозана (98,6 %) (таблица 2). В системах П4ВП- TiO_2 и Пек- TiO_2 также наблюдалось образование набухших осадков. Степень закрепления составила 80,3 % и 30 %, соответственно.

Таблица 2 — Результаты оценки содержания полимеров в композитах полимер/ TiO_2

Вводимое количество полимера, %	m (полимер) в исходном растворе, мг	m (полимер) в растворе после сорбции, мг	m (полимер) адсорбированного на носителе, мг	Степень адсорбции, %	Содержание полимера в композите, %
Пек/ TiO_2					
10	111	77,7	33,3	30,0	3,00
Хит/ TiO_2					
10	111	1,6	109,4	98,6	9,86
П4ВП/ TiO_2					
10	111	21,9	89,1	80,3	8,03

Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии химической природы функциональных групп на эффективность иммобилизации макромолекул на поверхности TiO_2 . Высокая степень закрепления хитозана согласуется с литературными данными о сильном взаимодействии протонированных аминогрупп с поверхностными гидроксильными центрами оксидов металлов (Vakili et al., 2014; Ahmed et al., 2015). Практически количественная адсорбция хитозана указывает на возможность формирования плотного полимерного слоя на поверхности частиц TiO_2 . Для поли-4-винилпиридина наблюдается несколько меньшая степень закрепления, что может быть связано с более жесткой структурой макромолекулярной цепи и меньшей доступностью функциональных групп для взаимодействия с поверхностью. В случае пектина значительное влияние оказывают гидратация карбоксильных групп и пространственные ограничения, снижающие эффективность адсорбции. Полученные закономерности хорошо согласуются с современными представлениями о сорбции ионогенных полимеров

на оксидных поверхностях и подтверждают определяющую роль кислотно-основных взаимодействий.

По уменьшению степени адсорбции полимеры располагаются в ряду: Хит > П4ВП > Пек (рисунок 1). Высокая адсорбция хитозана обусловлена протонированием аминогрупп и их взаимодействием с кислотными центрами поверхности TiO_2 (Vakili et al., 2014, Ahmed et al., 2015). Для П4ВП характерно образование катиона пиридиния при взаимодействии с оксидной поверхностью (Carvalho et al., 2024, Mavronasou et al., 2022). Более низкая степень закрепления пектина может быть связана с конкуренцией гидратации карбоксильных групп и стерическими факторами (Tortorella et al., 2021).

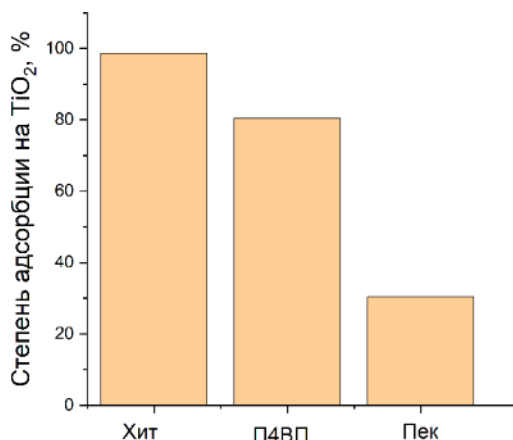


Рисунок 1 — Результаты оценки сорбционных свойств TiO_2 к полимерам

Присутствие Хит, П4ВП и Пек на поверхности диоксида титана было подтверждено с помощью ИК-спектроскопии (рисунок 2). В спектре П4ВП/ TiO_2 наблюдается смещение полос $\text{C}-\text{N}$ с 1686 до 1637 см^{-1} , что свидетельствует о формировании катиона пиридиния (Carvalho et al., 2024, Mavronasou et al., 2022). В системе Хит/ TiO_2 отмечены изменения полос $\text{C}=\text{O}$ (1635 см^{-1}) и $\text{N}-\text{H}$ (1559 см^{-1}), что подтверждает участие аминогрупп во взаимодействии с поверхностью оксида (Vakili et al., 2014, Ahmed et al., 2015). Для Пек/ TiO_2 фиксируется смещение полосы $\text{C}=\text{O}$ с 1747 до 1749 см^{-1} , что указывает на взаимодействие карбоксильных групп с поверхностными центрами TiO_2 (Tortorella et al., 2021). Интерпретация спектров соответствует современным представлениям о взаимодействии органических функциональных групп с оксидными поверхностями (Vlasova et al., 2019).

Дополнительный анализ ИК-спектров позволяет более детально рассмотреть характер взаимодействия функциональных групп полимеров с поверхностью диоксида титана и оценить особенности формирования межфазного слоя в исследуемых композитах. Как известно, инфракрасная спектроскопия является одним из наиболее информативных методов исследования поверхностных взаимодействий в гибридных органо-неорганических системах. Метод позволяет

идентифицировать функциональные группы, участвующие в сорбции, а также фиксировать изменения их колебательных характеристик, возникающие вследствие образования водородных связей, электростатических взаимодействий и поверхностных комплексов. Изменение положения полос поглощения, их интенсивности и ширины свидетельствует о модификации электронного окружения соответствующих химических групп после взаимодействия с поверхностью оксида.

Для исходного диоксида титана характерно наличие широкой полосы поглощения в области $3200\text{--}3600\text{ см}^{-1}$, обусловленной валентными колебаниями гидроксильных групп поверхности и адсорбированной воды (Vasconcelos et al., 2024, Primet et al., 1971). Наличие поверхностных групп Ti-OH играет ключевую роль в процессах адсорбции органических соединений, поскольку именно они выступают основными реакционными центрами, обеспечивающими взаимодействие с функциональными группами полимеров. Кроме того, в низкочастотной области спектра наблюдаются интенсивные полосы поглощения, соответствующие колебаниям связей Ti-O-Ti, характерным для кристаллической структуры оксида титана.

В спектре исходного хитозана наблюдаются характерные полосы поглощения в области $3430\text{--}3450\text{ см}^{-1}$, относящиеся к валентным колебаниям гидроксильных и аминогрупп (Baxter et al., 1992). Полосы в области $1655\text{--}1630\text{ см}^{-1}$ относятся к колебаниям амид I ($\nu(\text{C}=\text{O})$) остаточных N-ацетильных групп хитозана (Kumirska et al., 2010), тогда как сигнал около 1560 см^{-1} соответствует амид II и деформационным колебаниям N-H-групп. После закрепления хитозана на поверхности TiO₂ наблюдаются изменения положения и интенсивности указанных полос. В частности, смещение полос, относящихся к аминогруппам, свидетельствует о вовлечении атомов азота в процессы взаимодействия с поверхностными центрами оксида. Изменение интенсивности полосы N-H указывает на образование водородных связей между аминогруппами хитозана и гидроксильными группами поверхности TiO₂.

Дополнительно следует отметить, что аминогруппы хитозана способны не только участвовать в водородном связывании, но и выступать электронодонорными центрами. В результате возможно образование координационных взаимодействий между неподеленной электронной парой атома азота и поверхностными атомами титана, обладающими акцепторными свойствами. Подобный механизм хорошо согласуется с практически количественной адсорбцией хитозана, установленной вискозиметрическим методом. Вероятно, именно сочетание нескольких механизмов закрепления – электростатического взаимодействия, водородного связывания и координации – обеспечивает наиболее высокую степень иммобилизации данного полимера.

Для поли-4-винилпиридина характерны полосы поглощения, соответствующие колебаниям пиридинового кольца и связей C-N. После взаимодействия с поверхностью диоксида титана наблюдается смещение полосы C-N в область меньших волновых чисел. Подобное изменение может свидетельствовать

о перераспределении электронной плотности в пиридиновом фрагменте вследствие взаимодействия атома азота с поверхностными центрами оксида. Согласно литературным данным, подобные спектральные изменения характерны для образования протонированных форм пиридина либо поверхностных координационных комплексов.

Наличие пиридинового атома азота придает П4ВП свойства слабого полиоснования. В водной среде часть атомов азота может протонироваться с образованием катионов пиридиния, которые способны взаимодействовать с отрицательно заряженными участками поверхности TiO_2 . Одновременно непротонированные пиридиновые группы могут участвовать в донорно-акцепторных взаимодействиях с кислотными центрами поверхности оксида. Таким образом, адсорбция поли-4-винилпиридина может реализовываться по смешанному механизму, включающему как электростатические, так и координационные взаимодействия.

В спектре пектина основными диагностическими полосами являются полосы карбонильных групп сложноэфирных и карбоксильных фрагментов. После модификации поверхности TiO_2 наблюдается изменение положения полосы $\text{C}=\text{O}$, что свидетельствует об участии карбоксильных групп в процессах взаимодействия с поверхностью оксида.

Известно, что карбоксильные группы способны образовывать водородные связи с поверхностными гидроксильными группами, а также участвовать в реакциях поверхностного комплексобразования.

Однако по сравнению с хитозаном и поли-4-винилпиридином спектральные изменения для пектина выражены менее значительно. Данный факт хорошо согласуется с результатами количественного определения адсорбции. Вероятно, значительная гидратация карбоксильных групп приводит к образованию устойчивой сольватной оболочки вокруг макромолекул пектина, которая препятствует их непосредственному контакту с поверхностью оксида титана. Кроме того, разветвленное строение полисахаридной цепи может создавать дополнительные стерические затруднения при адсорбции.

Сопоставление спектров всех исследованных композитов показывает, что наиболее существенные изменения наблюдаются для азотсодержащих полимеров – хитозана и поли-4-винилпиридина. Это свидетельствует о более высокой способности аминных и пиридиновых групп к взаимодействию с поверхностными центрами диоксида титана по сравнению с карбоксильными группами пектина. Полученные данные хорошо согласуются с результатами вискозиметрического анализа, согласно которым степень адсорбции уменьшается в ряду Хитозан > П4ВП > Пектин.

Таким образом, данные ИК-спектроскопии подтверждают успешное формирование гибридных полимер-оксидных композитов и свидетельствуют о непосредственном участии функциональных групп макромолекул в процессах закрепления на поверхности TiO_2 . Наблюдаемые изменения спектральных характеристик указывают на образование межфазных взаимодействий различной

природы, включая водородное связывание, электростатическое притяжение и поверхностное комплексообразование. Результаты ИК-спектроскопического исследования находятся в хорошем согласии с данными по сорбции и подтверждают определяющую роль химической природы полимера в процессах формирования композитных материалов на основе диоксида титана.

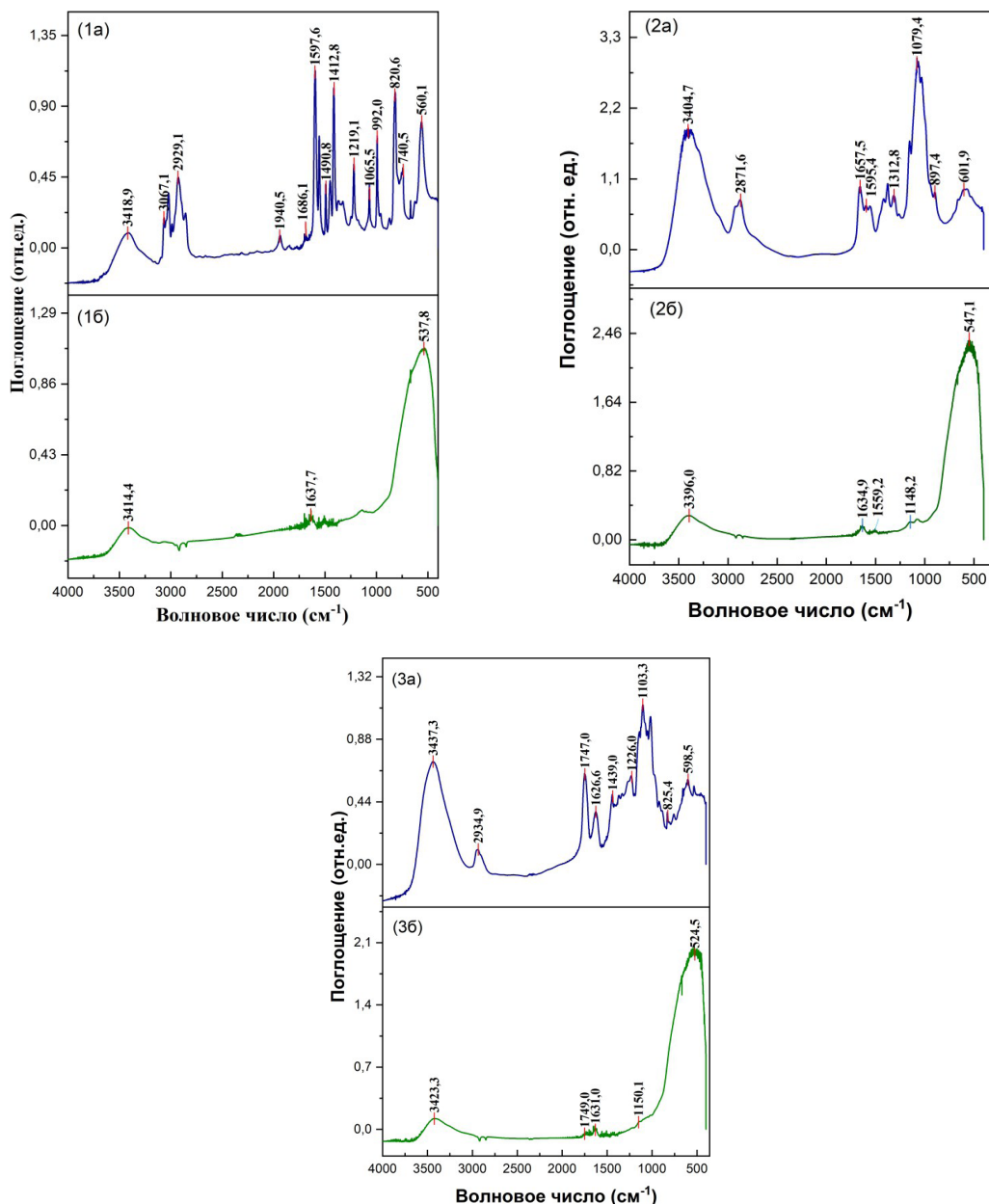
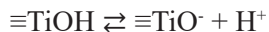
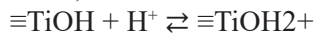


Рисунок 2 – Данные ИК спектров исследуемых образцов: (1а) П4ВП, (1б) П4ВП-TiO₂, (2а) Хит, (2б) Хит-TiO₂, (3а) Пектин, (3б) Пек-TiO₂

Полученные различия в степени адсорбции полимеров могут быть дополнительно объяснены с позиции кислотно-основных свойств поверхности TiO_2 и состояния функциональных групп макромолекул в растворе. Как известно, поверхность диоксида титана характеризуется наличием равновесий (Kartal et al., 2016):



При значениях pH, близких к точке нулевого заряда ($\text{pH}_{\text{pZC}} \approx 5-6$), поверхность содержит как положительно, так и отрицательно заряженные центры, что создает условия для адсорбции амфотерных и ионогенных соединений. В рассматриваемых условиях синтеза (водная среда, близкая к нейтральной) поверхность TiO_2 частично заряжена отрицательно, что способствует электростатическому взаимодействию с протонированными аминогруппами хитозана. Высокая степень закрепления хитозана (98,6%) может быть обусловлена тем, что при $\text{pH} < 6$ его аминогруппы находятся преимущественно в протонированной форме ($-\text{NH}_3^+$), что обеспечивает сильное электростатическое притяжение к отрицательно заряженным центрам поверхности TiO_2 . Дополнительно возможна координация через донорные атомы азота. Для поли-4-винилпиридина адсорбция также определяется протонированием пиридинового атома азота с образованием катиона пиридиния, однако меньшая плотность функциональных групп и более жесткая структура цепи ограничивают степень взаимодействия. Низкая степень закрепления пектина (30 %) может быть объяснена тем, что его карбоксильные группы при нейтральном pH находятся преимущественно в ионизированной форме ($-\text{COO}^-$), что приводит к электростатическому отталкиванию от отрицательно заряженной поверхности TiO_2 . Кроме того, значительная гидратация полисахаридной цепи и стерические факторы дополнительно снижают эффективность адсорбции. Таким образом, наблюдаемый ряд адсорбции: Хитозан > П4ВП > Пектин обусловлен сочетанием электростатических взаимодействий, кислотно-основных свойств функциональных групп и структурных особенностей макромолекул.

Следует отметить, что выявленные различия в степени закрепления полимеров могут оказывать непосредственное влияние на физико-химические свойства формируемых композитов. Высокая степень иммобилизации хитозана обеспечивает образование развитого поверхностного слоя с большим количеством аминогрупп, способных участвовать в сорбции ионов металлов и органических соединений. В случае поли-4-винилпиридина наличие пиридиновых групп может способствовать формированию дополнительных координационных центров и повышать комплексообразующую способность материала. Несмотря на более низкую степень адсорбции пектина, наличие карбоксильных групп создает возможности для дальнейшей химической модификации поверхности и формирования композитов с регулируемыми кислотно-основными и сорбционными характеристиками. Таким образом, выбор полимерного модификатора позволяет целенаправленно регулировать функциональные свойства гибридных материалов на основе диоксида титана.

Заключение. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о перспективности использования диоксида титана в качестве универсальной матрицы для иммобилизации полимеров различной природы. Выявленные закономерности взаимодействия могут служить основой для разработки новых сорбционных и каталитических материалов с регулируемыми поверхностными свойствами. Практическая значимость работы заключается в возможности целенаправленного выбора полимерного модификатора в зависимости от предлагаемой области применения композита, включая очистку водных сред, создание функциональных покрытий и получение материалов медицинского назначения.

В работе исследованы сорбционные свойства диоксида титана по отношению к полимерным модификаторам различной химической природы – хитозану, пектину и поли-4-винилпиридину. Установлено, что эффективность закрепления полимеров на поверхности TiO_2 определяется совокупностью факторов, включающих природу функциональных групп, степень их ионизации в растворе, особенности строения макромолекулярной цепи и кислотно-основные свойства поверхности оксида. Установленные закономерности согласуются с литературными представлениями о механизмах адсорбции.

Методом вискозиметрии показано, что максимальной степенью адсорбции характеризуется хитозан (98,6 %), тогда как для поли-4-винилпиридина и пектина данный показатель составляет 80,3 % и 30 % соответственно. Полученный ряд адсорбции Хитозан

> П4ВП > Пектин свидетельствует о существенной роли азотсодержащих функциональных групп в процессах взаимодействия с поверхностью диоксида титана. Результаты ИК-спектроскопических исследований подтверждают участие аминогрупп хитозана, пиридиновых фрагментов поли-4-винилпиридина и карбоксильных групп пектина в формировании межфазных взаимодействий с поверхностными центрами TiO_2 .

Показано, что высокая эффективность закрепления хитозана обусловлена сочетанием электростатического притяжения протонированных аминогрупп к поверхности оксида и возможностью образования дополнительных координационных взаимодействий. Для поли-4-винилпиридина важную роль играет протонирование атома азота пиридинового кольца, тогда как для пектина значительное влияние оказывают процессы гидратации карбоксильных групп и стерические ограничения.

Полученные результаты расширяют представления о механизмах взаимодействия полимеров различной природы с поверхностью диоксида титана и могут быть использованы при разработке новых гибридных органико-неорганических материалов для сорбционных, каталитических, мембранных и биомедицинских применений. Установленные закономерности могут служить основой для рационального выбора полимерных модификаторов при создании функциональных композитов с регулируемыми поверхностными характеристиками.

References

- Zhang H., Banfield J.F. (2014) Structural Characteristics and Mechanical and Thermodynamic Properties of Nanocrystalline TiO₂. *Chem. Rev.*, 19:9613–9644. <https://doi.org/10.1021/cr500072j> (in Eng.).
- Zhang H., Chen G., Bahnemann D. (2009) Photoelectrocatalytic Materials for Environmental Applications. *Journal of Materials Chemistry*, 19:5089–5121. <https://doi.org/10.1039/B821991E> (in Eng.).
- Kartal Temel N., Gürkan R., Ayan F. (2016) Photocatalytic TiO₂-catalyzed degradation of bromophenol blue-mediated Mo(VI)-peroxo complexes in the presence of SDS. *Desalination and Water Treatment*, 57:21083–21090. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1111813> (in Eng.).
- Dahl M., Liu Y., Yin Y. (2014) Composite Titanium Dioxide Nanomaterials. *Chemical Reviews*, 114(19):9853–9889. <https://doi.org/10.1021/cr400634p> (in Eng.).
- Haghighi F.H., Mercurio M., Cerra S., Salamone T.A., Bianymotlagh R., Palocci C., Romano Spica V., Fratoddi I. (2023) Surface modification of TiO₂ nanoparticles with organic molecules and their biological applications. *Journal of Materials Chemistry B*, 11:2334–2366. <https://doi.org/10.1039/D2TB02576K> (in Eng.).
- Kickelbick G. (2007) Introduction to Hybrid Materials. *Hybrid Materials: Synthesis, Characterization, and Applications*, pp.1 – 48. DOI:10.1002/9783527610495.ch1 (in Eng.).
- González García Á., Nagelkerke M.M.B., Tuinier R., Vis M. (2019) Polymer-mediated colloidal stability: on the transition between adsorption and depletion. *Adv Colloid Interface Sci.*, 275:102077. doi: 10.1016/j.cis.2019.102077. (in Eng.).
- Schubert J., Chanana M. (2019) Coating Matters: Review on Colloidal Stability of Nanoparticles with Biocompatible Coatings in Biological Media, Living Cells and Organisms. *Curr Med Chem.*, 25(35):4556–4586. doi: 10.2174/0929867325666180601101859 (in Eng.).
- Hiemstra T., Van Riemsdijk W.H. (1996) A Surface Structural Approach to Ion Adsorption: The Charge Distribution (CD) Model. *Journal of Colloid and Interface Science*, 179(2): 488–508. DOI: 10.1006/jcis.1996.0242 (in Eng.).
- Rinaudo M. (2006) Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science*, 31(7):603–632. 10.1016/j.progpolymsci.2006.06.001 (in Eng.).
- Sriamornsak P. (2003) Chemistry of pectin and its pharmaceutical uses: A review. 206–228. https://www.researchgate.net/publication/215872059_Chemistry_of_pectin_and_its_pharmaceutical_uses_A_review (in Eng.).
- Mavronasou K., Zamboulis A., Klonos P., Kyritsis A., Bikiaris D., Papadakis R., Deligkiozi I. (2022) Poly (vinyl pyridine) and Its Quaternized Derivatives: Understanding Their Solvation and Solid State Properties. *Polymers*, 14(4):804. <https://doi.org/10.3390/polym14040804> (in Eng.).
- Vakili M., Rafatullah M., Salamatinia B., Abdullah A.Z., Ibrahim M.H., Tan K.B., Gholami Z., Amouzgar P. (2014) Application of chitosan and its derivatives as adsorbents for dye removal from water and wastewater: a review. *Carbohydrate Polymers*, 113:115–130. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.07.007> (in Eng.).
- Ahmed S., Ikram S. (2015) Chitosan & its derivatives: A review in recent innovations. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 6:14–30. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.6\(1\)](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.6(1)) (in Eng.).
- Xiao S.-T., Wu S.-M., Dong Y., Liu J.-W., Wang L.-Y., Wu L., Zhang Y.-X., Tian G., Janiak C., Shalom M., Wang Y.-T., Li Y.-Z., Jia R.-K., Bahnemann D.W., Yang X.-Y. (2020) Rich surface hydroxyl design for nanostructured TiO₂ and its hole-trapping effect. *Chemical Engineering Journal*, 400:125909. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125909> (in Eng.).
- Tortorella S., Inzalaco G., Dapporto F., Maturi M., Sambri L., Buratti V., Chiariello M., Comes-Franchini M., Locatelli E. (2021) Biocompatible Pectin-based Hybrid Hydrogels for Tissue Engineering Applications. *New Journal of Chemistry* <https://doi.org/10.1039/D1NJ04142H> (in Eng.).
- Carvalho O.Q., Nguyen H.K.K., Padavala S.K.M., Árnadóttir L., Crumlin E.J., Stoerzinger K.A. (2024) Interaction of Nitric Oxide with Late 3d Transition Metals: Dissociation and Metal Oxidation. *The Journal of Physical Chemistry C*, 128(42):18006–18017. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.4c03048> (in Eng.).

Zhou D., Ji Z., Jiang X., Dunphy D.R., Brinker J., Keller A.A. (2013) Influence of Material Properties on TiO₂ Nanoparticle Agglomeration. PLOS ONE, 8(11): e81239. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081239> (in Eng.).

Vlasova N.N., Markitan O.V. (2019) Surface Complexation Modeling of Biomolecule Adsorptions onto Titania. Colloids and Interfaces, 3(1):28. <https://doi.org/10.3390/colloids3010028> (in Eng.).

Socrates G. (2001) Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies: Tables and Charts. John Wiley & Sons Ltd. [<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:92333066>] (<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:92333066>) (in Eng.).

Vasconcelos H.C., Meirelles M., Özmenteş R., Korkut A.(2024) Vacuum Ultraviolet Spectroscopic Analysis of Structural Phases in TiO₂ Sol–Gel Thin Films. Coatings , 15(1), 19. <https://doi.org/10.3390/coatings15010019> (in Eng.).

Primet M., Pichat P., Mathieu M.V. (1971) Infrared study of the surface of titanium dioxides. I. Hydroxyl groups. The Journal of Physical Chemistry, 75(9):1216. <https://doi.org/10.1021/j100679a007> (in Eng.).

Baxter A., Dillon M., Taylor K.D.A., Roberts G.A.F. (1992) Improved method for i.r. determination of the degree of *N*-acetylation of chitosan. International Journal of Biological Macromolecules, 14(3):166-169. 10.1016/S0141-8130(05)80007-8 (in Eng.).

Kumirska J., Czerwicka M., Kaczyński Z., Bychowska A., Brzozowski K., Thöming J., Stepnowski P. (2010) Application of Spectroscopic Methods for Structural Analysis of Chitin and Chitosan. Mar Drugs., 8(5):1567–1636. doi: 10.3390/md8051567 (in Eng.).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

www.nauka-nanrk.kz

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

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

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

Signed for print: June 30, 2026

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