

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



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ
«ХАЛЫҚ» ЖҚ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ
НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»
ЧФ «Халық»

N E W S

OF THE ACADEMY OF SCIENCES OF
THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
«Halyk» Private Foundation

SERIES
CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

3 (456)

JULY – SEPTEMBER 2023

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947

PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK



ЧФ «ХАЛЫҚ»

В 2016 году для развития и улучшения качества жизни казахстанцев был создан частный Благотворительный фонд «Халык». За годы своей деятельности на реализацию благотворительных проектов в областях образования и науки, социальной защиты, культуры, здравоохранения и спорта, Фонд выделил более 45 миллиардов тенге.

Особое внимание Благотворительный фонд «Халык» уделяет образовательным программам, считая это направление одним из ключевых в своей деятельности. Оказывая поддержку отечественному образованию, Фонд вносит свой посильный вклад в развитие качественного образования в Казахстане. Тем самым способствуя росту числа людей, способных менять жизнь в стране к лучшему – профессионалов в различных сферах, потенциальных лидеров и «великих умов». Одной из значимых инициатив фонда «Халык» в образовательной сфере стал проект *Ozgeris powered by Halyk Fund* – первый в стране бизнес-инкубатор для учащихся 9-11 классов, который помогает развивать необходимые в современном мире предпринимательские навыки. Так, на содействие малому бизнесу школьников было выделено более 200 грантов. Для поддержки талантливых и мотивированных детей Фонд неоднократно выделял гранты на обучение в Международной школе «Мирас» и в Astana IT University, а также помог казахстанским школьникам принять участие в престижном конкурсе «USTEM Robotics» в США. Авторские работы в рамках проекта «Тәлімгер», которому Фонд оказал поддержку, легли в основу учебной программы, учебников и учебно-методических книг по предмету «Основы предпринимательства и бизнеса», преподаваемого в 10-11 классах казахстанских школ и колледжей.

Помимо помощи школьникам, учащимся колледжей и студентам Фонд считает важным внести свой вклад в повышение квалификации педагогов, совершенствование их знаний и навыков, поскольку именно они являются проводниками знаний будущих поколений казахстанцев. При поддержке Фонда «Халык» в южной столице был организован ежегодный городской конкурс педагогов «Almaty Digital Ustaz».

Важной инициативой стал реализуемый проект по обучению основам финансовой грамотности преподавателей из восьми областей Казахстана, что должно оказать существенное влияние на воспитание финансовой грамотности и предпринимательского мышления у нового поколения граждан страны.

Необходимую помощь Фонд «Халык» оказывает и тем, кто особенно остро в ней нуждается. В рамках социальной защиты населения активно проводится

работа по поддержке детей, оставшихся без родителей, детей и взрослых из социально уязвимых слоев населения, людей с ограниченными возможностями, а также обеспечению нуждающихся социальным жильем, строительству социально важных объектов, таких как детские сады, детские площадки и физкультурно-оздоровительные комплексы.

В копилку добрых дел Фонда «Халык» можно добавить оказание помощи детскому спорту, куда относится поддержка в развитии детского футбола и карате в нашей стране. Жизненно важную помощь Благотворительный фонд «Халык» оказал нашим соотечественникам во время недавней пандемии COVID-19. Тогда, в разгар тяжелой борьбы с коронавирусной инфекцией Фонд выделил свыше 11 миллиардов тенге на приобретение необходимого медицинского оборудования и дорогостоящих медицинских препаратов, автомобилей скорой медицинской помощи и средств защиты, адресную материальную помощь социально уязвимым слоям населения и денежные выплаты медицинским работникам.

В 2023 году наряду с другими проектами, нацеленными на повышение благосостояния казахстанских граждан Фонд решил уделить особое внимание науке, поскольку она является частью общественной культуры, а уровень ее развития определяет уровень развития государства.

Поддержка Фондом выпуска журналов Национальной Академии наук Республики Казахстан, которые входят в международные фонды Scopus и Wos и в которых публикуются статьи отечественных ученых, докторантов и магистрантов, а также научных сотрудников высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов нашей страны является не менее значимым вкладом Фонда в развитие казахстанского общества.

**С уважением,
Благотворительный Фонд «Халык»**

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрынұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының президенті, АҚ «Д.В. Сокольский атындағы отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) Н = 4

Редакция алқасы:

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» Халықаралық ғылыми-өндірістік холдингінің директоры (Қарағанды, Қазақстан) Н = 11

АГАБЕКОВ Владимир Енокович (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі, Жаңа материалдар химиясы институтының құрметті директоры (Минск, Беларусь) Н = 13

СТРНАД Мирослав, профессор, Чехия ғылым академиясының Эксперименттік ботаника институтының зертхана меңгерушісі (Оломоуц, Чехия) Н = 66

БҮРКІТБАЕВ Мұхамбетқали, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-дың бірінші проректоры (Алматы, Қазақстан) Н = 11

ХОХМАНН Джудит, Сегед университетінің Фармацевтика факультетінің Фармакогнозия кафедрасының меңгерушісі, Жаратылыстану ғылымдарының пәнаралық орталығының директоры (Сегед, Венгрия) Н = 38

РОСС Самир, PhD докторы, Миссисипи университетінің Өсімдік өнімдерін ғылыми зерттеу ұлттық орталығы, Фармация мектебінің профессоры (Оксфорд, АҚШ) Н = 35

ХУТОРЯНСКИЙ Виталий, философия докторы (PhD, фармацевт), Реддинг университетінің профессоры (Реддинг, Англия) Н = 40

ТЕЛТАЕВ Бағдат Бұрханбайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі, Қазақстан Республикасы Индустрия және инфрақұрылымдық даму министрлігі (Алматы, Қазақстан) Н = 13

ФАРУК Асана Дар, Хамдар аль-Маджида Шығыс медицина колледжінің профессоры, Хамдар университетінің Шығыс медицина факультеті (Карачи, Пәкістан) Н = 21

ФАЗЫЛОВ Серік Драхметұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Органикалық синтез және көмір химиясы институты директорының ғылыми жұмыстар жөніндегі орынбасары (Қарағанды, Қазақстан) Н = 6

ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробекқызы, химия ғылымдарының докторы, профессор, Қырғызстан ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА Химия және химиялық технология институты (Бішкек, Қырғызстан) Н = 4

ХАЛИКОВ Джурабай Халикович, химия ғылымдарының докторы, профессор, Тәжікстан ҒА академигі, В.И. Никитин атындағы Химия институты (Душанбе, Тәжікстан) Н = 6

ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджидоглы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҰҒА академигі (Баку, Әзірбайжан) Н = 13

ГАРЕЛИК Хемда, философия докторы (PhD, химия), Халықаралық таза және қолданбалы химия одағының Химия және қоршаған орта бөлімінің президенті (Лондон, Англия) Н = 15

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы»

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.) Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № KZ66VPY00025419 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

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

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., тел.: 272-13-19

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

© «Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ, 2023

Редакцияның мекенжайы: 050100, Алматы қ., Қонаев к-сі, 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 Национальной академии наук Республики Казахстан, генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (Алматы, Казахстан) Н = 4

Редакционная коллегия:

АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного научно-производственного холдинга «Фитохимия» (Караганда, Казахстан) Н = 11

АГАБЕКОВ В ладимир Енокович (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН Беларуси, почетный директор Института химии новых материалов (Минск, Беларусь) Н = 13

СТРНАД Мирослав, профессор, заведующий лабораторией института Экспериментальной ботаники Чешской академии наук (Оломоуц, Чехия) Н = 66

БУРКИТБАЕВ Мухамбеткали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, Первый проректор КазНУ имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н = 11

ХОХМАНН Джудит, заведующий кафедрой Фармакогнозии Фармацевтического факультета Университета Сегеда, директор Междисциплинарного центра естественных наук (Сегед, Венгрия) Н = 38

РОСС Самир, доктор PhD, профессор Школы Фармации национального центра научных исследований растительных продуктов Университета Миссисипи (Оксфорд, США) Н = 35

ХУТОРЯНСКИЙ Виталий, доктор философии (Ph.D, фармацевт), профессор Университета Рединга (Рединг, Англия) Н = 40

ТЕЛЫГАЕВ Багдат Бурханбайулы, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН РК, Министерство Индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан (Алматы, Казахстан) Н = 13

ФАРУК Асана Дар, профессор колледжа Восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет Восточной медицины университета Хамдарда (Карачи, Пакистан) Н = 21

ФАЗЫЛОВ Серик Драхметович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, заместитель директора по научной работе Института органического синтеза и углехимии (Караганда, Казахстан) Н = 6

ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробековна, доктор химических наук, профессор, академик НАН Кыргызстана, Институт химии и химической технологии НАН КР (Бишкек, Кыргызстан) Н = 4

ХАЛИКОВ Джурабай Халикович, доктор химических наук, профессор, академик АН Таджикистана, Институт химии имени В.И. Никитина АН РТ (Душанбе, Таджикистан) Н = 6

ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджид оглы, доктор химических наук, профессор, академик НАНА (Баку, Азербайджан) Н = 13

ГАРЕЛИК Хемда, доктор философии (Ph.D, химия), президент Отдела химии и окружающей среды Международного союза чистой и прикладной химии (Лондон, Англия) Н = 15

«Известия НАН РК. Серия химии и технологий».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ66VPY00025419, выданное 29.07.2020 г.

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

Периодичность: 4 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, оф. 219, тел.: 272-13-19

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

© РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан», 2023

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

Editor in chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovich, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, president of NAS RK, general director of JSC "Institute of fuel, catalysis and electrochemistry named after D.V. Sokolsky (Almaty, Kazakhstan) H = 4

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) H = 11

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) H = 13

STRNAD Miroslav, head of the laboratory of the institute of Experimental Botany of the Czech academy of sciences, professor (Olomouc, Czech Republic) H = 66

BURKITBAYEV Mukhambetkali, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, first vice-rector of al-Farabi KazNU (Almaty, Kazakhstan) H = 11

HOHMANN Judith, head of the department of pharmacognosy, faculty of Pharmacy, university of Szeged, director of the interdisciplinary center for Life sciences (Szeged, Hungary) H = 38

ROSS Samir, Ph.D., professor, school of Pharmacy, national center for scientific research of Herbal Products, University of Mississippi (Oxford, USA) H = 35

KHUTORANSKY Vitaly, Ph.D., pharmacist, professor at the University of Reading (Reading, England) H = 40

TELTAYEV Bagdat Burkhanbayuly, doctor of technical sciences, professor, corresponding member of NAS RK, ministry of Industry and infrastructure development of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan) H = 13

PHARUK Asana Dar, professor at Hamdard al-Majid college of Oriental medicine. faculty of Oriental medicine, Hamdard university (Karachi, Pakistan) H = 21

FAZYLOV Serik Drakhmetovich, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, deputy director for institute of Organic synthesis and coal chemistry (Karaganda, Kazakhstan) H = 6

ZHOROBEKOVA Sharipa Zhorobekovna, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Kyrgyzstan, Institute of Chemistry and chemical technology of NAS KR (Bishkek, Kyrgyzstan) H = 4

KHALIKOV Jurabay Khalikovich, doctor of chemistry, professor, academician of the academy of sciences of Tajikistan, institute of Chemistry named after V.I. Nikitin AS RT (Tajikistan) H = 6

FARZALIEV Vagif Medzhid ogly, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Azerbaijan (Azerbaijan) H = 13

GARELIK Hemda, PhD in chemistry, president of the department of Chemistry and Environment of the International Union of Pure and Applied Chemistry (London, England) H = 15

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of chemistry and technology.

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (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 No. **KZ66VPY00025419**, issued 29.07.2020.

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

Periodicity: 4 times a year.

Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19

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

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2023

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

© **Talgatov E.T.¹, Bukharbayeva F.U.^{1,2*}, Kenzheyeva A.M.¹,**

Abdigapbarova G.G.^{1,2}, Aubakirov T.A.³, 2023

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

Almaty, Kazakhstan;

²Abai Kazakh National Pedagogical University NJSC, Almaty, Kazakhstan;

³«Margulan Pavlodar Pedagogical University» NJSC, Pavlodar, Kazakhstan.

E-mail: fmfm92@mail.ru

PALLADIUM CATALYSTS DEPOSITED ON TITANIUM DIOXIDE AND MAGNETIC IRON OXIDE IN THE HYDROGENATION OF PHENYLACETYLENE: INFLUENCE OF PHOTOCATALYTIC PROPERTIES OF THE SUPPORT

Talgatov Eldar Talgatovich – PhD, associated professor, Scientific secretary. «D.V.Sokolsky Institute of fuel, catalysis and electrochemistry» JSC, Almaty, Kazakhstan

E-mail: e.talgatov@ifce.kz. ORCID: 0000-0001-8153-4765;

Bukharbayeva Farida Umarovna – PhD student, Abai Kazakh National Pedagogical University NJSC. Junior researcher of the laboratory of organic catalysis. «D.V.Sokolsky Institute of fuel, catalysis and electrochemistry» JSC, Almaty, Kazakhstan

E-mail: fmfm92@mail.ru. ORCID: 0000-0003-0109-1488;

Kenzheyeva Alima Muratovna – Master's degree, leading engineer of the organic catalysis laboratory. «D.V.Sokolsky Institute of fuel, catalysis and electrochemistry» JSC, Almaty, Kazakhstan

E-mail: fishka_jan@mail.ru. ORCID: 0000-0002-4149-2617;

Abdigapbarova Gulnaz Galymzhankyzy – Graduate student Abai Kazakh National Pedagogical University NJSC. Engineer of the organic catalysis laboratory. «D.V.Sokolsky Institute of fuel, catalysis and electrochemistry» JSC, Almaty, Kazakhstan

E-mail: gulnaz.abdigapbarova.21@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4355-3604;

Aubakirov Talgat Aituarovich – PhD student, «Margulan Pavlodar Pedagogical University» NJSC, Pavlodar, Kazakhstan

E-mail: aubakirov.magistr@gmail.com. ORCID: 0000-0001-6468-8041.

Abstract. The aim of this work is to evaluate the influence of photocatalytic properties of titanium dioxide (TiO₂) and magnetic iron oxide (MIO) on the activity and selectivity of Pd/TiO₂ and Pd/MIO catalysts in the hydrogenation process. Titanium dioxide (TiO₂ SA) was synthesized by precipitation of TiCl₃ with ammonium hydroxide followed by calcination of the resulting precipitate at 350°C. Magnetic iron oxide (MIO) was synthesized by chemical co-precipitation of iron salts in the ratio Fe³⁺:Fe²⁺=2:1.

The synthesized TiO_2 SA, MIO and commercial anatase (TiO_2 CA) were characterized by physicochemical methods and tested in the organic dye photodegradation reaction. The XRD, Mossbauer spectroscopy and elemental analysis methods indicated that MIO was a mixture of Fe_3O_4 and $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, while TiO_2 SA was anatase. Characterization of TiO_2 SA, TiO_2 CA and MIO by SEM, XRD and BET showed that the materials are associations of microaggregates, which in turn consist of smaller particles (TiO_2 SA - 8.2 nm, TiO_2 CA - 15.6 nm, MIO - 14.1 nm). The maximum photodecomposition rate of methyl orange was 4.6×10^{-11} , 2.9×10^{-11} , and 0.6×10^{-11} mol/s for TiO_2 CA, TiO_2 SA, and MIO, respectively. Palladium catalysts were prepared by precipitation of $[\text{PdCl}_4]^{2-}$ ions on to supports using NaOH solution as precipitant. The 0.9% Pd/ TiO_2 SA, 1% Pd/ TiO_2 CA and 1%Pd/MIO catalysts obtained were examined in the hydrogenation of phenylacetylene. In terms of activity, the catalysts were arranged in a series: Pd/ TiO_2 CA ($W_{\text{max}} = 17.8 \times 10^{-6}$ mol/s) > Pd/ TiO_2 SA ($W_{\text{max}} = 7.3 \times 10^{-6}$ mol/s) > Pd/MIO ($W_{\text{max}} = 1.2 \times 10^{-6}$ mol/s), which correlates with the test results of the corresponding supports in the photodegradation of methyl orange. Thus, the obtained results indicated that using of materials with photocatalytic activity as supports is promising for the construction of palladium hydrogenation catalysts with improved properties.

Keywords: TiO_2 ; magnetic iron oxide; photocatalytic process; methyl orange; palladium catalyst; liquid-phase hydrogenation; phenylacetylene

Financing: This work was financially supported by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant № AP13068154).

© Талғатов Э.Т.¹, Бухарбаева Ф.У.^{1,2*}, Кенжеева А.М.¹,
Әбдіғапбарова Г.Г.^{1,2}, Аубакиров Т.А.³, 2023

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

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

³ «Әлкей Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті» КЕАҚ, Павлодар, Қазақстан.
E-mail: fmf92@mail.ru

ФЕНИЛАЦЕТИЛЕНДІ ГИДРЛЕУДЕГІ ТИТАН ДИОКСИДІ МЕН МАГНИТТІК ТЕМІР ОКСИДІНЕ ОТЫРҒЫЗЫЛҒАН ПАЛЛАДИЙ КАТАЛИЗАТОРЛАРЫ: ТАСЫМАЛДАУШЫНЫҢ ФОТОКАТАЛИТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНІҢ ӘСЕРІ

Талғатов Эльдар Талғатұлы – PhD доктор, қауым. профессор, Ғылыми хатшы. «Д.В.Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан
E-mail: e.talgatov@ifce.kz. ORCID: 0000-0001-8153-4765;

Бухарбаева Фаридә Умаровна – Абай атындағы ҚазҰПУ PhD докторанты. Органикалық катализ зертханасының кіші ғылыми қызметкері. «Д.В.Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан
E-mail: fmf92@mail.ru. ORCID: 0000-0003-0109-1488;

Кенжеева Алима Муратовна – магистр. Органикалық катализ зертханасының жетекші инженері. «Д.В.Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

E-mail: fishka_jan@mail.ru. ORCID: 0000-0002-4149-2617;

Әбдіғабарова Гулназ Ғалымжанқызы – Абай атындағы ҚазҰПУ магистранты. Органикалық катализ зертханасының инженері. «Д.В.Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

E-mail: gulnaz.abdigapbarova.21@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4355-3604;

Аубакиров Талгат Айтуарович – Әлкей Марғұлан атындағы ППУ PhD докторанты. «Әлкей Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті» КЕАҚ, Павлодар, Қазақстан

E-mail: aubakirov.magistr@gmail.com. ORCID: 0000-0001-6468-8041.

Аннотация. Жұмыстың мақсаты титан диоксидінің (TiO_2) және магниттік темір оксидінің (МТО) фотокаталитикалық қасиеттерінің гидрлеу реакциясындағы Pd/ TiO_2 және Pd/МТО катализаторларының белсенділігі мен селективтілігіне әсерін бағалау болып табылады. Титан диоксиді (TiO_2 СА) TiCl_3 аммоний гидроксидімен тұндыру әдісімен синтезделді, содан кейін алынған тұнба 350°C температурада қыздырылды. Магниттік темір оксиді (МТО) темір тұздарының $\text{Fe}^{3+}:\text{Fe}^{2+}= 2:1$ қатынасында химиялық қос тұндыру арқылы синтезделді. Синтезделген TiO_2 СА, МТО мен коммерциялық анатаз (TiO_2 КА) физикалық-химиялық әдістермен сипатталды және органикалық бояғыштың фотоыдырау реакциясында сыналды. РФА, мессбауэр спектроскопиясы және элементтік анализ арқылы МТО өзі Fe_3O_4 және $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ қоспасы екенін, ал TiO_2 СА анатаз болып табылатынын көрсетті. Материалдарды СЭМ, РФА және БЭТ әдісімен зерттеу материалдардың өзі микроагрегаттардың ассоциациясы екенін көрсетті, олар өз кезегінде кішірек бөлшектерден тұрады (TiO_2 СА - 8,2 нм, TiO_2 КА - 15,6 нм, МТО - 14,1 нм). Метил сарының фотоыдырауының максималды жылдамдығы TiO_2 КА, TiO_2 СА және МТО үшін $4,6 \times 10^{-11}$, $2,9 \times 10^{-11}$ және $0,6 \times 10^{-11}$ моль/с болды, сәйкесінше. Палладий катализаторлары тұндырғыш ретінде NaOH ерітіндісін пайдаланып тасымалдаушыға $[\text{PdCl}_4]^{2-}$ иондарын тұндыру арқылы алынды. Алынған 0,9% Pd/ TiO_2 СА, 1% Pd/ TiO_2 және 1% Pd/МТО катализаторлары фенилацетиленді гидрлеуде зерттелді. Белсенділік бойынша катализаторлар қатарға орналастырылды: Pd/ TiO_2 КА ($W_{\text{max}} = 17,8 \times 10^{-6}$ моль/с) > Pd/ TiO_2 СА ($W_{\text{max}} = 7,3 \times 10^{-6}$ моль/с) > Pd/МТО ($W_{\text{max}} = 1,2 \times 10^{-6}$ моль/с), бұл реакциядағы тиісті медианы сынақ нәтижелерімен байланысты фотоыдырауы. метил сарғыштың фотоыдырау реакциясындағы тиісті тасымалдаушылардың сынақ нәтижелерімен сәйкес келеді. Осылайша, алынған нәтижелер жақсартылған қасиеттері бар гидрлеудің палладий катализаторларын дайындау үшін тасымалдаушы ретінде фотокаталитикалық белсенділігі бар материалдарды пайдалану перспективасын көрсетеді.

Түйінді сөздер: TiO_2 ; магниттік темір оксиді; фотокаталитикалық процесс; метил сарғышы; палладий катализаторы; сұйық фазалы гидрлеу; фенилацетилен.

Қаржыландыру: Осы жұмыс Қазақстан Республикасы ғылым және жоғары білім Министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен орындалды (грантт № AP13068154).

© Талгатов Э.Т.¹, Бухарбаева Ф.У.^{1,2*}, Кенжеева А.М.¹,

Әбдігапбарова Г.Г.^{1,2}, Аубакиров Т.А.³, 2023

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

²Казахский Национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан;

³НАО «Павлодарский педагогический университет им. Әлкей Марғұлан». E-mail: fmf92@mail.ru

ПАЛЛАДИЕВЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ, НАНЕСЕННЫЕ НА ДИОКСИД ТИТАНА И МАГНИТНЫЙ ОКСИД ЖЕЛЕЗА, В ГИДРИРОВАНИИ ФЕНИЛАЦЕТИЛЕНА: ВЛИЯНИЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НОСИТЕЛЯ

Талгатов Эльдар Талгатович – доктор PhD, ассоц. профессор, Ученый секретарь. АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан

E-mail: e.talgatov@ifce.kz. ORCID: 0000-0001-8153-4765;

Бухарбаева Фарида Умаровна – докторант PhD КазНПУ им. Абая. Младший научный сотрудник лаборатории органического катализа. АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан

E-mail: fmf92@mail.ru. ORCID: 0000-0003-0109-1488;

Кенжеева Алима Муратовна – магистр, ведущий инженер лаборатории органического катализа. АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан

E-mail: fishka_jan@mail.ru. ORCID: 0000-0002-4149-2617;

Әбдігапбарова Гүлназ Галымжанқызы – магистрант КазНПУ им. Абая. Инженер лаборатории органического катализа. АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан

E-mail: gulnaz.abdigapbarova.21@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4355-3604;

Аубакиров Талгат Айтуарович – докторант PhD НАО «Павлодарский педагогический университет им. Әлкей Марғұлан», Павлодар, Казахстан

E-mail: aubakirov.magistr@gmail.com. ORCID: 0000-0001-6468-8041.

Аннотация. Целью настоящей работы является оценка влияния фотокаталитических свойств диоксида титана (TiO_2) и магнитного оксида железа (МОЖ) на активность и селективность Pd/TiO_2 и $\text{Pd}/\text{МОЖ}$ катализаторов в реакции гидрирования. Диоксид титана (TiO_2 СА) был синтезирован методом осаждения TiCl_3 гидроксидом аммония с последующем прокаливанием полученного осадка при 350°C . Магнитный оксид железа (МОЖ) синтезировали методом химического со-осаждения солей железа в соотношении $\text{Fe}^{3+}:\text{Fe}^{2+} = 2:1$. Синтезированные TiO_2 СА, МОЖ и коммерческий анатаз (TiO_2 КА) были охарактеризованы физико-химическими методами и испытаны в реакции фоторазложения органического красителя. Методами РФА, мессбауэровской спектроскопии и элементного анализа было показано, что МОЖ представляет собой смесь Fe_3O_4 и $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, а TiO_2 СА является анатазом. Исследование TiO_2 СА, TiO_2 КА и МОЖ методами СЭМ, РФА и БЭТ показало, что материалы представляют собой ассоциации микроагрегатов, которые, в свою очередь, состоят из более мелких частиц (TiO_2 СА - 8,2 нм,

TiO₂ КА - 15,6 нм, МОЖ - 14,1 нм). Максимальная скорость фоторазложения метилового оранжевого составила $4,6 \times 10^{-11}$, $2,9 \times 10^{-11}$ и $0,6 \times 10^{-11}$ моль/с для TiO₂ КА, TiO₂ СА и МОЖ, соответственно. Палладиевые катализаторы получали методом осаждения ионов $[\text{PdCl}_4]^{2-}$ на носители с использованием раствора NaOH в качестве осадителя. Полученные 0,9% Pd/TiO₂ СА, 1% Pd/TiO₂ КА и 1%Pd/МОЖ катализаторы были исследованы в гидрировании фенилацетилена. По активности катализаторы располагались в ряд: Pd/TiO₂ КА ($W_{\text{max}} = 17,8 \times 10^{-6}$ моль/с) > Pd/TiO₂ СА ($W_{\text{max}} = 7,3 \times 10^{-6}$ моль/с) > Pd/МОЖ ($W_{\text{max}} = 1,2 \times 10^{-6}$ моль/с), что коррелирует с результатами испытания соответствующих носителей в реакции фоторазложения метилового оранжевого. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования материалов с фотокаталитической активностью в качестве носителей для конструирования палладиевых катализаторов гидрирования с улучшенными свойствами.

Ключевые слова: TiO₂; магнитный оксид железа; фотокаталитический процесс; метиловый оранжевый; палладиевый катализатор; жидкофазное гидрирование; фенилацетилен.

Финансирование: Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP13068154).

Введение

Нанесенные металлические катализаторы имеют решающее значение для современного общества, поскольку они играют ключевую роль в промышленных процессах, таких как нефтепереработка, производство реактивов и охрана окружающей среды (Bergwerff и др., 2006; Ну и др. 2021). Поэтому исследования, посвященные разработке усовершенствованных катализаторов с повышенной активностью, селективностью и стабильностью, всегда привлекали большое внимание как научного сообщества, так и промышленности.

Выбор носителя имеет важное значение для конструирования нанесенных катализаторов с улучшенными свойствами. В качестве носителей таких катализаторов используют мезопористые материалы с повышенной удельной поверхностью, которые обеспечивают образование на них высокодисперсных форм металлических катализаторов. Улучшение дисперсии металлического катализатора на материале носителя обычно увеличивает активность (Pal и др., 2015; Parapat и др., 2014). Взаимодействие с материалом носителя также может существенно влиять на активность и селективность наночастиц благородных металлов в различных реакциях (Ding и др., 2019; Kovtunov и др., 2015; Gao и др., 2011).

Различные мезопористые материалы, такие как углерод, оксид алюминия, диоксид кремния, диоксид титана, оксиды железа и т.д. нашли применение в качестве носителей катализаторов (Gao и др., 2011). Среди них в последнее время особый интерес представляют магнитные наночастицы оксида железа (МНЧ). Нанесенные катализаторы на основе магнитных наночастиц обладают

рядом уникальных свойств таких, как легкость отделения из реакционной смеси с помощью магнитного (Govan и др., 2014; Shifrina и др., 2018; Abu-Dief и др., 2018) возможность повторного использования катализаторов без существенной потери каталитической активности и селективности, образование мелкодисперсных наночастиц на поверхности носителя и др. (Shokouhimehr, 2015; Rossi и др., 2014; Noval и др., 2019). Не меньший интерес в качестве носителя представляет диоксида титана (TiO_2) – доступный, химически стабильный и менее токсичный материал (Razip и др., 2019), способный улучшать каталитические свойства нанесенных на него металлических наночастиц (Razip и др., 2019; Bagheri и др., 2014; Riyaran и др., 2014; Wei и др., 2019; Khashan и др., 2017). Byun M.Y и др. исследовали влияние различных оксидных носителей (Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , CeO_2 и ZrO_2) на каталитическую эффективность Pd-катализаторов в гидрировании фурфурола. Было установлено, что конверсия фурфурола увеличивалась при большей дисперсности Pd, которая зависела от свойств носителя. На селективность в отношении циклопентанона и тетрагидрофурфурилового спирта также оказывали влияние физико-химические свойства Pd-катализаторов. Высокая дисперсность Pd и высокая кислотность катализатора способствовали гидрированию C=C связи, и большему выходу тетрагидрофурфурилового спирта. Катализатор Pd/ TiO_2 показал самый высокий выход циклопентанона, чем другие катализаторы (Byun и др., 2020). В работе (Raad и др., 2021) было показано, что палладиевый катализатор, нанесенный на наноструктурированный TiO_2 , проявляет более высокую активность в процессе гидроочистки смолистых соединений по сравнению с аналогичными катализаторами на основе $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, MgO, и SiO_2 , имеющими более высокую удельную поверхность. В целом отмечается, что TiO_2 является хорошим носителем для металлических катализаторов благодаря сильному взаимодействию металл-носитель, химической стабильности и подходящим кислотно-основным свойствам (Kovtunov и др., 2015; Bagheri и др., 2014).

Кроме того, TiO_2 также привлекает большое внимание в качестве перспективного фотокатализатора по сравнению с другими полупроводниковыми материалами благодаря своим полезным свойствам, таким как отличные оптические и электронные свойства, высокая химическая стабильность, низкая стоимость, нетоксичность и экологичность (Liu и др., 2017; Dharmia и др., 2022). Магнитные наночастицы оксида железа также нашли применение в качестве катализаторов фоторазложения органических веществ (Sanad и др., 2021). Однако исследований, связанных с выявлением взаимосвязи между фотокаталитическими свойствами таких носителей и поведением металлических катализаторов на их основе в реакциях органического синтеза ранее не проводилось.

В связи с этим целью настоящей работы является оценка влияния фотокаталитических свойств диоксида титана (TiO_2) и магнитного оксида железа (МОЖ) на активность и селективность Pd/ TiO_2 и Pd/МОЖ катализаторов в реакции гидрирования. Для этого синтезированные TiO_2 , магнитный оксид железа, и

коммерческий анатаз были испытаны в реакции фоторазложения органического красителя, а полученные на их основе нанесенные палладиевые катализаторы – в реакции гидрирования фенилацетилена.

Материалы и методы

Реактивы и материалы.

Хлорид титана (III) $TiCl_3$ (10-15% раствор, SIGMA-ALDRICH), раствор аммиака (25 мас.% NH_3 в H_2O , ЧДА), метилоранжевый (С.И. 13025, AppliChem), этанол (96,3%, ХЧ), $PdCl_2$ (59-60% Pd, Sigma Aldrich), KCl (ХЧ), NaOH (ХЧ), $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ (98%, Sigma Aldrich), $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ (97%, Sigma Aldrich), TiO_2 (анатаз, 99,7%, Sigma Aldrich) использовали без дополнительной очистки. Фенилацетилен (98%, Sigma Aldrich) очищали путем перегонки, чистоту проверяли хроматографически.

Синтез диоксида титана (TiO_2 , СА)

Образцы диоксида титана (анатаз) получали методом химического осаждения. 100 мл 10-15% раствора $TiCl_3$ смешивали с 400 мл этилового спирта используя магнитную мешалку в течение 30 минут. К полученному этанольному раствору $TiCl_3$ при перемешивании на магнитной мешалке по каплям добавляли 56 мл 25% раствора NH_4OH (рН достигал 8-9). После окончания подачи раствора NH_4OH смесь выдерживали при перемешивании в течение 4 часов до изменения цвета осадка с темно синего на белый. Полученный белый осадок отделяли от раствора, промывали водой и спиртом, сушили выпариванием при температуре $90^\circ C$, а затем прокаливали при $350^\circ C$ в течение 2 часов.

Синтез магнитного оксида железа (МОЖ)

Магнитный оксид железа синтезировали методом со-осаждения хлоридов железа (соотношение $Fe^{3+}:Fe^{2+} = 2:1$) гидроксидом натрия следующим образом. Навески солей железа ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$ –23,34 г и $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ – 8,58 г) растворяли в 300 мл предварительно прокипяченной дистиллированной воды при комнатной температуре и перенесли в термостатированную ($50^\circ C$) трех-горловую круглодонную колбу объемом 500 мл. К полученному раствору солей железа по каплям добавляли 100 мл 3,45 М раствора гидроксида натрия при непрерывном перемешивании путем барботирования газообразного азота и выдерживали полученную смесь в течение 4 часов, а затем охлаждали до комнатной температуры. Образовавшийся осадок черного цвета отделяли от надосадочной жидкости путем магнитной сепарации и несколько раз промывали деионизированной водой до нейтральной реакции (рН 6,6), а затем сушили на воздухе.

Характеристика полученных материалов

Рентгенофазовый анализ (РФА) образцов осуществляли на рентгеновском дифрактометре ДРОН-4-0.7 (Буревестник, Россия) с использованием кобальт-монохроматизированного $K\alpha$ -излучения ($\lambda = 0,179$ нм). Измерение удельной поверхности и распределения пор по размерам осуществляли методом низкотемпературной адсорбции-десорбции N_2 на приборе Accusorb (Micromeritics, США). Морфологию и элементный состав образцов исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6610 LV, совмещенного с EDX детектором (Япония). Мессбауэровский спектр $57Fe$ регистрировали

на спектрометре SM-2201 при 293 К. Используемый источник ^{57}Co (~50 мКи) находился в хромовой матрице.

Оценка фотокаталитических свойств

Фотокаталитическую активность синтезированных образцов (TiO_2 СА, МОЖ) и коммерческого анатаза (TiO_2 КА) оценивали в реакции разложения метилового оранжевого при облучении ультрафиолетовым излучением. Источником ультрафиолетового излучения служила кварцевая лампа с длиной волны 254 нм, мощностью 30 Вт. Процедуру проводили следующим образом. 0,2 г катализатора переносили в стакан объемом 250 мл, добавляли 50 мл дистиллированной воды и перемешивали в течение 30 минут до образования однородной суспензии. Затем к суспензии добавляли 100 мл раствора метилового оранжевого (30 мг/л) и перемешивали в темноте в течение 30 минут для установления адсорбционно-десорбционного равновесия. После включали лампу и проводили реакцию фоторазложения красителя. Через заданные интервалы облучения отбирались аликвоты красителя (4 мл), которые затем подвергали центрифугированию для отделения фотокатализатора от раствора. Содержание красителя в растворе определяли на спектрофотометре СФ-2000 по калибровочным кривым при длине волны $\lambda = 465,7$ нм.

Приготовление палладиевых катализаторов

Катализаторы получали путем осаждения ионов палладия на синтезированные образцы TiO_2 СА, МОЖ и коммерческий анатаз (TiO_2 КА). Процедуру проводили следующим образом. К 1 г носителя добавляли 20 мл дистиллированной воды и перемешивали до образования однородной суспензии. К полученной суспензии по каплям добавляли 5 мл 0,019 М раствора K_2PdCl_4 и перемешивали в течение 2 часов. Полученную смесь выдерживали до полного отделения осадка от маточного раствора. Надосадочный раствор анализировали на содержание ионов палладия для оценки сорбционных свойств носителя и возвращали в систему. После чего к смеси по каплям добавляли 2 мл 0,25 М раствора NaOH и перемешивали в течение 1 часа. Полученный катализатор отделяли от маточного раствора. Осадок промывали дистиллированной водой до нейтральной реакции и сушили на воздухе. К фильтрату для нейтрализации среды добавили раствор 0,25 М HCl в количестве эквивалентном добавленному NaOH и анализировали на содержание ионов палладия. Содержание палладия в маточных растворах, до и после осаждения K_2PdCl_4 определяли на спектрофотометре СФ-2000 по калибровочным кривым при длине волны $\lambda = 430$ нм.

Гидрирование фенилацетилена

Гидрирование проводили в непроточном термостатированном стеклянном реакторе в среде этилового спирта (25 мл) при атмосферном давлении водорода и температуре 40°C в реакторе типа «утка» при интенсивном перемешивании (600–700 качаний в минуту). Навеска катализатора составляла 0,05 г. Катализатор предварительно подвергали 30-минутной обработке водородом непосредственно в реакторе при интенсивном перемешивании, а затем вводили 2.23 ммоль (0.09 моль/л) субстрата. Количество субстрата бралось в расчете на поглощение

100 мл водорода. Скорость реакции рассчитывали по изменению поглощения водорода в единицу времени. Селективность катализатора оценивали как долю целевого продукта в продуктах реакции при заданной степени превращения. Анализ продуктов реакции выполняли на хроматографе «Хромос ГХ-1000» с пламенно-ионизационным детектором в изотермическом режиме, используя капиллярную колонку ВР21 (FFAP) с полярной фазой (ПЭГ, модифицированный нитротерефталатом) длиной 50 м и внутренним диаметром 0,32 мм.

Результаты и обсуждение

Характеристика синтезированных носителей и катализаторов.

Синтезированные диоксид титана и магнитный оксид железа были охарактеризованы методами рентгеновской дифракции (РФА), мессбауэровской спектроскопии, элементного анализа, сканирующей электронной микроскопией и низкотемпературной адсорбции-десорбции азота.

На рисунке 1а представлена рентгеновская дифрактограмма синтезированного диоксида титана (TiO_2 СА). Характерные рефлексы при $29,4^\circ$, $44,5^\circ$, $56,0^\circ$, $64,3^\circ$, $74,3^\circ$, $82,7^\circ$ и $90,0^\circ$ соответствуют (101), (112), (200), (105), (204), (220), и (215) кристаллографическим плоскостям анатаза TiO_2 в тетрагональной сингонии (JCPDS карта № 21-1272) (Srinivasu, Р. и др., 2011). Также на дифрактограмме образца в области $20\text{--}30^\circ$ наблюдается широкий рефлекс аморфной фазы. При этом, следует отметить, что дифрактограмма синтезированного образца практически полностью совпадает с дифрактограммой коммерческого анатаза (TiO_2 КА) (рисунок 1б). На дифрактограмме синтезированного магнитного оксида железа (МОЖ) наблюдаются шесть характерных рефлексов при $35,1^\circ$, $41,4^\circ$, $50,5^\circ$, $63,1^\circ$, $67,3^\circ$ и $74,3^\circ$ соответствующих (220), (311), (400), (422), (511) и (440) кристаллическим плоскостям магнетита Fe_3O_4 (JCPDS Card No. 88-0315) или маггемита $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (JCPDS Card No. 39-1346) со структурой шпинели (рисунок 1в) (Kazeminezhad I. и др., 2014).

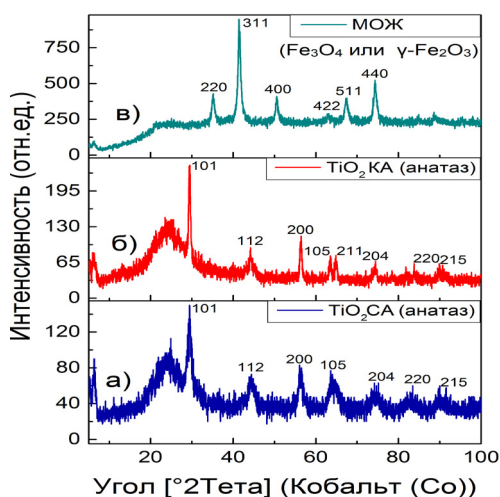


Рисунок 1. Дифрактограммы TiO_2 СА (а), TiO_2 КА (б) и МОЖ (в)

Изоструктурность Fe_3O_4 и $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ и близкие значения параметров кристаллической решетки затрудняют однозначную идентификацию дифрактограмм, соответствующих частицам магнитного порошка (Kydralieva K.A. и др., 2016). Для более точной идентификации фазового состава структуру оксида железа анализировали методом мессбауэровской спектроскопии при 293 К.

Наблюдаемые в спектре магнитные сверхтонкие секстеты указывают на магнито-упорядоченное состояние ионов железа (рисунок 2) (Gervits N.E. и др., 2019).

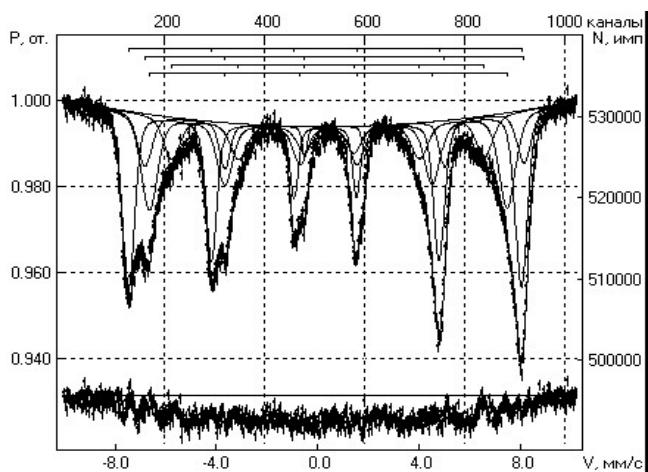


Рисунок 2. Мессбауэровский спектр МОЖ

Результаты анализа мессбауэровских спектров представлены в таблице 1. Спектр МОЖ асимметричен и представляет собой суперпозицию четырех секстетов. Первый секстет, имеющий значения $\delta = 0,30$ мм/с, $H_{\text{н}} = 482$ кЭ и $I = 41\%$, можно отнести к Fe^{3+} в А-позициях (тетраэдрическая подрешетка) как магнетита (Fe_3O_4), так и маггемита ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) (Winsett J. и др., 2019; Zakharova I. N. и др., 2012). Второй секстет ($\delta = 0,68$ мм/с и $H_{\text{н}} = 465$ кЭ), с интенсивностью 13% соответствует атомам железа $\text{Fe}^{2,5+}$, расположенным на В-позициях (октаэдрическая подрешетка) структуры шпинели магнетита (Fe_3O_4) [29]. Третий секстет имеет значения $\delta = 0,43$ мм/с и $H_{\text{н}} = 438$ кЭ, которые являются характерными значениями для Fe^{3+} в В-позициях (октаэдрическая подрешетка) маггемита ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) (Zakharova I. N. и др., 2012). Этот компонент имеет интенсивность 30%. Квадрупольное расщепление (ϵ) первых трех секстетов равно $-0,01$ мм/с указывает на кубическую симметрию. Четвертый секстет со значениями $\delta = 0,44$ мм/с, $\epsilon = -0,04$ мм/с $H_{\text{н}} = 383$ кЭ и $I = 16\%$ вероятно относится к ионам железа, расположенным в поверхностных областях наночастиц $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, «обедненных» обменными связями (Zakharova I. N. и др., 2012). Заселённость подрешеток в магнетите должна соотноситься как 1:2. Учитывая этот факт, вклад Fe^{3+} магнетита в интенсивность первого секстета должна составлять 7% из 41%. Отсюда можно сделать вывод, что исследуемый образец состоит из двух фаз: 20 % магнетита по сумме интенсивностей А- и В-позиций и 80 % маггемита.

Таблица 1. Изомерный сдвиг (δ), квадрупольное расщепление (ϵ), эффективное магнитное поле (H_{eff}) и относительная интенсивность (I) секстетов в мёссбауэровском спектре ядер ^{57}Fe в МОЖ

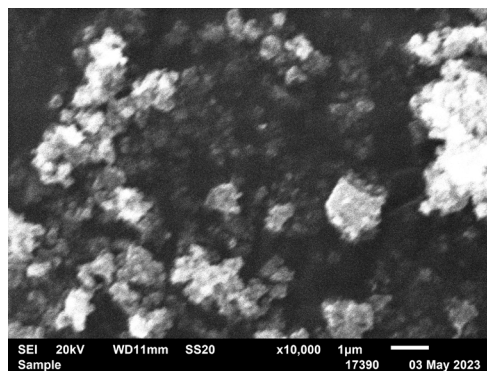
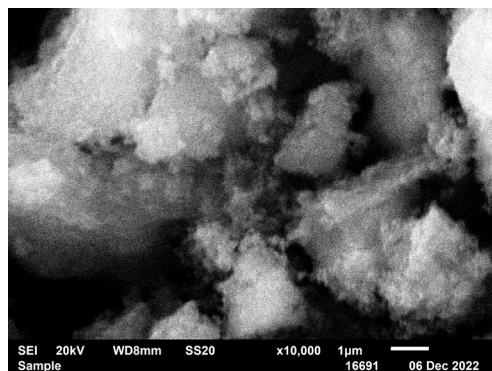
Номер пика	δ , мм/с	ϵ , мм/с	H_{eff} , кЭ	I , %
1 секстет	0,30	- 0,01	482	41
2 секстет	0,68	-0,01	465	13
3 секстет	0,43	- 0,01	438	30
4 секстет	0,44	- 0,04	383	16

Результаты элементного анализа указывает на то, что синтезированный магнитный оксид железа не содержит примесей. Содержание железа в МОЖ (71,5%) близко к расчетным данным для Fe_2O_3 (69,9%) и Fe_3O_4 (72,4%), что согласуется с данными РФА и мессбауэровской спектроскопии, свидетельствующих об образовании смеси оксидов Fe_3O_4 и $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Содержание титана в синтезированном диоксиде титана также имело близкие значения к расчетным данным для TiO_2 при этом содержание примесей не превышало 2% (таблица 2).

Таблица 2 – Элементный состав полученных диоксида титана и магнитного оксида железа и катализаторов на их основе

Образец	Содержание элемента, % масс.					
	Fe	Ti	O	Cl	Pd	Другие элементы
TiO_2 , СА	-	58,55	39,56	1,61	-	0,28
МОЖ	71,52	-	28,48	-	-	-
1% Pd/ TiO_2 , КА	0,91	55,79	41,13	0,1	1,03	1,04
1% Pd/ TiO_2 , СА	-	58,43	39,36	1,05	0,91	0,25
1% Pd/ Fe_3O_4 , МОЖ	70,5	-	27,64	0,65	1,21	-

Исследование морфологии синтезированных TiO_2 СА и МОЖ методом сканирующей электронной микроскопии показало, что оба образца представляют собой ассоциации микроагрегатов, которые, в свою очередь, состоят из более мелких частиц. При этом граница между частицами прослеживается плохо, и одна частица постепенно переходит в другую (рисунок 3)



а) б)
Рисунок 3. СЭМ снимки TiO_2 СА (а) и МОЖ (б)

Для подтверждения влияния агломерации на морфологию носителей оценивались размер частиц магнитного оксида железа и диоксида титана с использованием данных РФА и БЭТ.

Средний размер частиц носителей по данным РФА рассчитывали с помощью формулы Шеррера (1), по полуширине наиболее интенсивного рефлекса:

$$d = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1),$$

где, λ - длина волны рентгеновского излучения (0,179 нм), β - полуширина рефлекса, θ - соответствующий угол Брэгга, и K - параметр формы, равный 0,94 для МОЖ, и 0,9 для диоксида титана.

В случае расчета среднего размера частиц по данным БЭТ использовалась формула (2) представленная в работе (Mascolo M.C. и др., 2013):

$$d = \frac{6000}{S_w \rho} \quad (2),$$

где, S_w - удельная площадь поверхности образца $\text{м}^2/\text{г}$, а ρ – плотность, равная $3,9 \text{ г}/\text{см}^3$ для диоксида титана и $4,9 \text{ г}/\text{см}^3$ для МОЖ.

Формула (2) была также использована для расчета удельной поверхности образцов по данным РФА. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты исследования носителей методами РФА и БЭТ

Образцы	$S_w, \text{ м}^2/\text{г}$		$V_{\text{ADSMAX}}, \text{ мл}/\text{г}$	Размер частиц, нм		$(S_{\text{РФА}} - S_{\text{БЭТ}})/2, \text{ м}^2/\text{г}$
	БЭТ	РФА		РФА	БЭТ	
TiO_2 КА	65,9	98,6	0,0521	15,6	23,3	16,4
TiO_2 СА	107,6	187,6	0,1178	8,2	14,3	40,0
МОЖ	61,1	86,8	0,0618	14,1	20,0	12,9
Примечание:						

По данным РФА было установлено, что частицы синтезированного диоксида титана (TiO_2 СА) имеют меньший размер (8,2 нм) по сравнению с частицами коммерческого анатаза (15,6 нм) и синтезированного магнитного оксида железа (14,1 нм). Размеры частиц носителей, рассчитанные по данным БЭТ, несколько отличались от размеров, определенных методом РФА. Так, размер частиц, рассчитанный по данным БЭТ, для синтезированных TiO_2 СА и МОЖ составлял 14,3 и 20,0 нм, соответственно. Для коммерческого анатаза (TiO_2 КА) это значение составляло 23,3 нм (таблица 3). Такая разница в размерах в всех случаях может быть объяснена агломерацией наноразмерных частиц. Во всех случаях наблюдалась меньшая (данные БЭТ) от рассчитанного значения (данные РФА) удельная поверхность, и, следовательно, больший кажущийся размер частиц, рассчитанный по данным БЭТ. Положительные значения площади раздела между частицами $(S_{\text{РФА}} - S_{\text{БЭТ}})/2$ указывает на блокировку поверхности в результате агрегации частиц. Это значение было наибольшим для TiO_2 СА, что

свидетельствует о более высокой степени агрегации частиц синтезированного диоксида титана по сравнению с магнитным оксидом железа и коммерческим анатазом.

Развитая удельная поверхность полученных материалов делает их хорошими кандидатами для получения нанесенных металлических катализаторов. Как правило, такие катализаторы получают путем адсорбции или осаждения благородных металлов на носители. Для выбора стратегии получения нанесенных катализаторов на основе диоксида титана и магнитного оксида железа оценивалась возможность нанесения ионов палладия на TiO_2 КА, TiO_2 СА и МОЖ путем адсорбции и осаждения.

В таблице 4 представлены результаты оценки сорбционных свойств коммерческого анатаза (TiO_2 КА) и магнитного оксида железа по отношению к ионам палладия. Результаты фотоэлектроколориметрического анализа (ФЭК) маточных растворов до и после сорбции показали, что степень адсорбции $[\text{PdCl}_4]^{2-}$ на TiO_2 КА и МОЖ составляет 5,3% и 52,6%, соответственно. Это говорит о том, что использование адсорбционного метода получения нанесенных катализаторов для данных материалов является не целесообразным, так как не позволяет получать системы с заданным содержанием палладия.

Таблица 4. Сорбционные свойства носителей по отношению к ионам палладия

Носитель	Концентрация ионов палладия в маточном растворе, М		Степень адсорбции, %
	До адсорбции	После адсорбции	
TiO_2 КА	0,0038	0,0036	5,3
МОЖ	0,0038	0,0018	52,6

Сорбионные свойства синтезированного анатаза (TiO_2 СА) оценить не удалось из-за мелкодисперсности данного материала, затрудняющего отделение осадка от маточного раствора. Однако в щелочной среде происходит агломерация частиц, приводящая к выпадению осадка. В связи с этим, для получения нанесенных палладиевых катализаторов использовали метод осаждения, а в качестве осадителя использовали раствор гидроксида натрия (таблице 5).

Таблица 5. Результаты оценки степени осаждения ионов палладия на носители

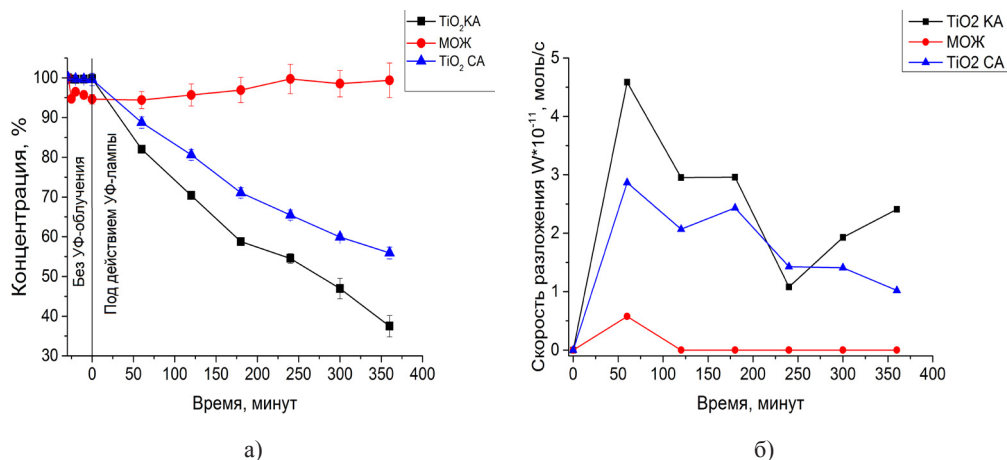
Катализатор	Содержание ионов палладия в маточном растворе, $\cdot 10^{-5}$ моль		Степень осаждения, %	Содержание Pd, рассчитанное по данным ФЭК, %
	До осаждения	После осаждения		
Pd/ TiO_2 КА	9,5	0,132	98,6	0,99
Pd/ TiO_2 СА	9,5	0,701	92,6	0,93
Pd/МОЖ	9,5	0,082	99,1	0,99

По данным ФЭК было установлено, что добавление раствора NaOH к суспензиям, содержащим $[\text{PdCl}_4]^{2-}$ и TiO_2 КА (или МОЖ), способствует практически полному (98-99%) осаждению палладия на носители. В случае TiO_2 СА степень осаждения ионов палладия превышала 90%. Содержание палладия

в катализаторах, рассчитанное на основании данных о степени осаждения, составило 0,9% для Pd/TiO₂ CA и 1,0% для остальных систем, что согласуется с результатами элементного анализа (таблица 2).

Фотокаталитические свойства носителей

Фотокаталитические свойства TiO₂ KA, TiO₂ CA и МОЖ были испытаны в реакции разложения метилового оранжевого (рисунок 4).



Условия опыта: навеска катализатора – 0,2 г, концентрация МО – 20 мг/л, объем раствора – 150 мл, длина волны – 254 нм, мощность лампы – 30 Вт.

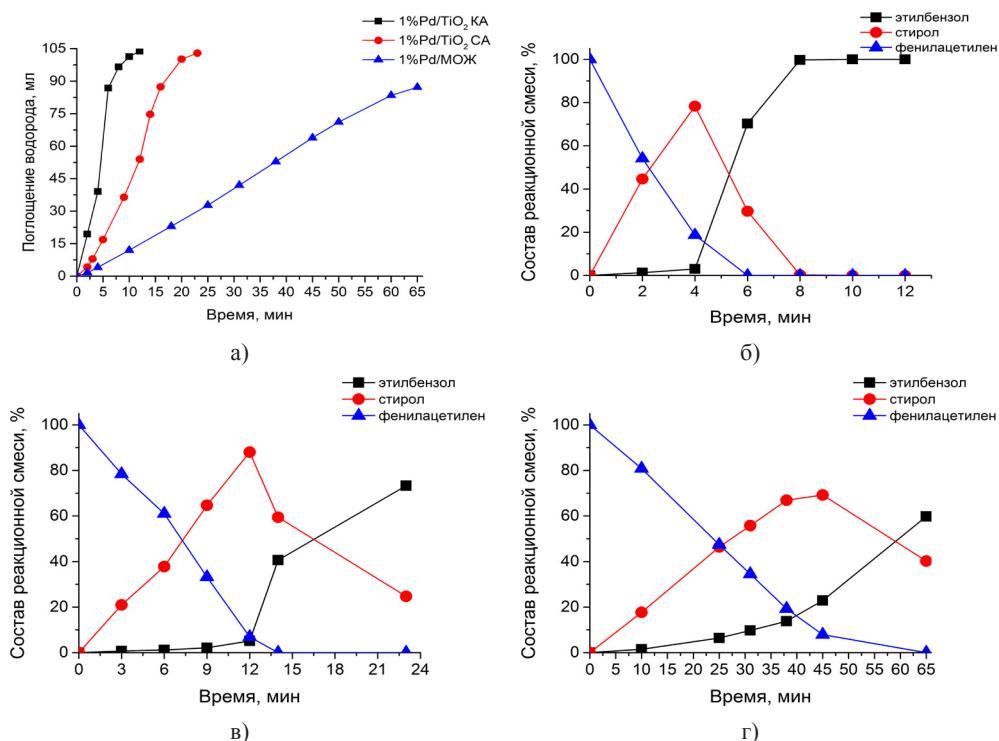
Рисунок 4. Кривые разложения метилового оранжевого (МО) в присутствии TiO₂ KA, TiO₂ CA и МОЖ: а) изменение относительной концентрации красителя в растворе при его фоторазложении; б) изменение скорости фоторазложения

Результаты испытаний показали, что по фотокаталитической активности носители располагаются в ряд: TiO₂ KA > TiO₂ CA > МОЖ. Количество разложившегося красителя в течении 6 часов облучения составило 62,5 и 44,1% для коммерческого и синтезированного анатаза, соответственно. В случае магнитного оксида железа концентрация красителя в условиях УФ облучения практически не изменялась (рисунок 4, а). На основании данных об изменении концентрации красителя от времени рассчитывали скорость фоторазложения. Во всех случаях в первые 60 минут скорость реакции достигала максимального значения, а затем падала. Максимальная скорость фоторазложения метилового оранжевого составила $4,6 \times 10^{-11}$, $2,9 \times 10^{-11}$ и $0,6 \times 10^{-11}$ моль/с для TiO₂ KA, TiO₂ CA и МОЖ, соответственно (рисунок 4, б)

Гидрирование фенилацетилена

Гидрирование фенилацетилена проводили в присутствии Pd/TiO₂ KA, Pd/TiO₂ CA и Pd/МОЖ. Активность катализаторов оценивали по поглощению H₂ во времени. Катализаторы на основе диоксида титана оказались более активными по сравнению с магнитной системой. Точка полугидрирования (50 мл) для Pd/TiO₂ KA, Pd/TiO₂ CA, и Pd/МОЖ была достигнута после 4, 12 и 38 минуты, соответственно (рисунок 5, а).

Согласно хроматографическому анализу, в начальный период реакции на Pd/TiO₂ КА Pd/TiO₂ СА и Pd/МОЖ наблюдается накопление стирола, который затем восстанавливается до этилбензола (рисунок 5, б-г). Максимальный выход стирола на Pd/TiO₂ КА Pd/TiO₂ СА и Pd/МОЖ катализаторах наблюдался после 4-й (78,3%), 12-й (88,0%) и 45-й (69,2%) минут, соответственно.



Условия опыта: навеска катализатора – 0,05 г, фенилацетилен – 0,25 мл, растворитель – этанол (25 мл), температура – 40°C, давление – 0,1 МПа.

Рисунок 5. Результаты гидрирования фенилацетилена: кинетика поглощения водорода (а); изменение состава реакционной смеси в присутствии Pd/TiO₂ КА (б), Pd/TiO₂ СА (в) и Pd/МОЖ (г)

Скорость гидрирования и селективность по стирулу рассчитывали по поглощению водорода и данным хроматографического анализа, соответственно. Сравнение каталитических свойств Pd/TiO₂ КА, Pd/TiO₂ СА и Pd/МОЖ представлено в таблице 6.

Таблица 6. Результаты гидрирования фенилацетилена в присутствии полученных катализаторов

Катализатор	W×10 ⁻⁶ , моль/с		Селективность, %	Конверсия, %
	C≡C	C=C		
Pd/МОЖ	1,2	1,2	82,9	80,7
Pd/TiO ₂ , СА	4,3	7,7	94,5	93,1
Pd/TiO ₂ , КА	7,3	17,8	96,3	81,3

Примечание: навеска катализатора – 0,05 г, фенилацетилен – 0,25 мл, растворитель – этанол (25 мл), температура – 40°C, давление – 0,1 МПа

Накопление стирола на Pd/TiO₂ СА протекало селективно (94,5 %) со скоростью $4,3 \times 10^{-6}$ моль/с, а затем скорость увеличивалась до $7,7 \times 10^{-6}$ моль/с, что соответствует гидрированию двойной С–С связи. В присутствии Pd/TiO₂ КА наблюдалась аналогичная зависимость и примерно такая же селективность по стиrolу (96,3%), но при этом катализатор на основе коммерческого анатаза показал более высокую активность ($W_{\text{C=C}} = 7,3 \times 10^{-6}$ моль/с, $W_{\text{C=C}} = 17,8 \times 10^{-6}$ моль/с). В случае Pd/МОЖ процесс гидрирования протекал заметно медленнее ($1,2 \times 10^{-6}$ моль/с) и с меньшей селективностью по стиrolу (83%), а скорость гидрирования тройной и двойной С–С связей была одинаковой (таблица 6). Таким образом, активность палладиевых катализаторов снижается в следующем порядке: Pd/TiO₂ КА > Pd/TiO₂ СА > Pd/МОЖ, что коррелирует с результатами испытания соответствующих носителей в реакции фоторазложения метилового оранжевого. Так, палладиевый катализатор нанесенный на наиболее фотоактивный носитель (TiO₂ КА) оказался самым эффективным в гидрировании фенилацетилена, в то время как при нанесении палладия на магнитный носитель с низкой фоторазлагающей способностью образуется катализатор (Pd/МОЖ), уступающий по активности аналогичным системам на основе диоксида титана. Следует также отметить тот факт, что палладиевые катализаторы нанесенные на коммерческий и синтезированный анатаз продемонстрировали достаточно высокую селективность по стиrolу (95-96%).

Заключение

В настоящей работе синтезированы диоксид титана в модификации анатаз (TiO₂ СА) и магнитный оксид железа (МОЖ), представляющий собой смесь Fe₃O₄ и γ-Fe₂O₃. Полученные материалы и для сравнения коммерческий анатаз (TiO₂ КА) были протестированы в фотокаталитическом разложении метилового оранжевого. Также оценивалась возможность получения нанесенных палладиевых катализаторов методами адсорбции и осаждения.

Исследование TiO₂ КА, TiO₂ СА и МОЖ методом СЭМ, РФА и БЭТ показали, что материалы представляют собой ассоциации микроагрегатов, которые, в свою очередь, состоят из более мелких частиц. При этом МОЖ и TiO₂ КА имели близкие размер кристаллических частиц и удельную поверхность. Синтезированный анатаз характеризовался меньшим размером частиц и более развитой удельной поверхностью. Однако, несмотря на это, коммерческий анатаз продемонстрировал более высокую активность в фоторазложении органического красителя, чем синтезированный. В случае магнитного оксида железа концентрация красителя в условиях УФ облучения практически не изменялась. Оценка сорбционных свойств TiO₂ КА, Pd/TiO₂ СА, и МОЖ по отношению к ионам [PdCl₄]²⁻ показала, что использование адсорбционного метода для получения палладиевых катализаторов является не целесообразным. В свою очередь, осаждение ионов палладия с помощью щелочи позволяет получать катализаторы с ~ 1% содержанием благородного металла. Исследование полученных палладиевых катализаторов в гидрировании фенилацетилена показало, что по активности композиты располагаются в ряд: Pd/TiO₂ КА > Pd/TiO₂ СА > Pd/МОЖ, что коррелирует с

результатами испытания соответствующих носителей в реакции фоторазложения метилового оранжевого. Следует также отметить, что палладиевые катализаторы нанесенные на фотоактивные носители (TiO_2 КА и TiO_2 СА) продемонстрировали достаточно высокую селективность по стиролу (95-96%).

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования материалов с фотокаталитической активностью в качестве носителей для конструирования палладиевых катализаторов гидрирования с улучшенными свойствами. Однако для подтверждения наличия зависимости между фотокаталитическими свойствами носителей и активностью нанесенных катализаторов требуются дальнейшие исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Bergwerff J. A., van de Water L. G. A., Lysova A. A., Koptyug I. V., Visser T., de Jong K. P., Weckhuysen B. M., 2006 – Monitoring the preparation of (Co)Mo/Al₂O₃ extrudates using spatially resolved spectroscopic techniques. *Studies in Surface Science and Catalysis*, 162, 175-186. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-2991\(06\)80905-5](https://doi.org/10.1016/S0167-2991(06)80905-5) (in Eng.).
- Hu X., Yip A.C.K., 2021 – Heterogeneous Catalysis: Enabling a Sustainable Future. *Frontiers in Catalysis*, 1. DOI: <https://doi.org/10.3389/fctls.2021.667675> (in Eng.).
- Pal N., Bhaumik A., 2015 – Mesoporous materials: versatile supports in heterogeneous catalysis for liquid phase catalytic transformations. *RSC Advances*, 5, 24363-24391. DOI: <https://doi.org/10.1039/C4RA13077D> (in Eng.).
- Parapat R.Y., Saputra O.H.I., Ang A.P., Schwarze M., Schomäcker R., 2014 – Support effect in the preparation of supported metal catalysts via microemulsion. *RSC Advances*, 4, 50955-50963. DOI: <https://doi.org/10.1039/C4RA10736E> (in Eng.).
- Ding Q., Hu X., 2019 – Mesoporous materials as catalyst support for wastewater treatment. *Madridge J Nanotechnology Nanoscience*, 4 (2), 160-167. DOI: <https://doi.org/10.18689/mjnn-1000132> (in Eng.).
- Kovtunov K.V., Barskiy D.A., Salnikov O.G., et al., 2015 – Strong metal–support interactions for palladium supported on TiO₂ catalysts in the heterogeneous hydrogenation with parahydrogen. *ChemCatChem*, 7, 2581-2584. DOI: <https://doi.org/10.1002/cctc.201500790> (in Eng.).
- Gao M., Lyalin A., Taketsugu T., 2011 – Role of the support effects on the catalytic activity of gold clusters: a density functional theory study. *Catalysts*, 1, 18-39. DOI: <https://doi.org/10.3390/catal1010018> (in Eng.).
- Govan J., Gun'ko Y.K., 2014 – Recent Advances in the Application of Magnetic Nanoparticles as a Support for Homogeneous Catalysts. *Nanomaterials*, 4 (2), 222-241. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano4020222> (in Eng.).
- Shifrina Z.B., Bronstein L.M., 2018 – Magnetically Recoverable Catalysts: Beyond Magnetic Separation. *Frontiers in Chemistry*, 6 (298). DOI: <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00298> (in Eng.).
- Abu-Dief A.M., Abdel-Fatah S.M., 2018 – Development and functionalization of magnetic nanoparticles as powerful and green catalysts for organic synthesis. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7 (1), 55-67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2017.05.008> (in Eng.).
- Shokouhimehr M., 2015 – Magnetically separable and sustainable nanostructured catalysts for heterogeneous reduction of nitroaromatics. *Catalysts*, 5 (2), 534-560. DOI: <https://doi.org/10.3390/catal5020534> (in Eng.).
- Rossi L.M., Costa N.J.S., Silva F.P., Wojcieszak R., 2014 – Magnetic nanomaterials in catalysis: advanced catalysts for magnetic separation and beyond. *Green Chemistry*, 16 (6), 2906-2933. DOI: <https://doi.org/10.1039/C4GC00164H> (in Eng.).
- Noval V.E., Carriazo J.G., 2019 – Fe₃O₄-TiO₂ and Fe₃O₄-SiO₂ Core-shell Powders Synthesized from Industrially Processed Magnetite (Fe₃O₄) Microparticles. *Materials Research*, 22 (3). DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2018-0660> (in Eng.).
- Razip N.I.M., Lee K.M., Lai C.W., Ong B.H., 2019 – Recoverability of Fe₃O₄/TiO₂ nanocatalyst in methyl orange degradation. *Materials Research Express*, 6 (7). DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/2053-1591/ab176e> (in Eng.).
- Bagheri S., Julkapli N.M., Hamid S.B.A., 2014 – Titanium Dioxide as a Catalyst Support in Heterogeneous Catalysis. *The Scientific World Journal*, 21, 1–21. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/727496> (in Eng.).

Riyapan S., Boonyongmaneerat Y., Mekasuwandumrong O., Yoshida H., Fujita S.I., Arai M., Panpranot J., 2014 – Improved catalytic performance of Pd/TiO₂ in the selective hydrogenation of acetylene by using H₂-treated sol–gel TiO₂. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 383-384, 82-187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2013.12.003> (in Eng.).

Wei Z., Yao Z., Zhou Q., Zhuang G., Zhong X., Deng S., Li X., Wang J., 2019 – Optimizing Alkyne Hydrogenation Performance of Pd on Carbon In Situ Decorated with Oxygen-Deficient TiO₂ by Integrating the Reaction and Diffusion. *ACS Catalysis*, 9(12), 10656-10667. DOI: <https://doi.org/10.1021/acscatal.9b03300> (in Eng.).

Khashan, S., Dagher, S., Tit, N., Alazzam, A., & Obaidat, I., 2017 – Novel method for synthesis of Fe₃O₄@TiO₂ core/shell nanoparticles. *Surface & Coatings Technology*, 322, 92-98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.05.045> (in Eng.).

Byun M.Y., Park D.W., Lee M.S., 2020 – Effect of Oxide Supports on the Activity of Pd Based Catalysts for Furfural Hydrogenation. *Catalysts*, 10(8), 837. DOI: <https://doi.org/10.3390/catal10080837> (in Eng.).

Raad Z., Toufaily J., Hamieh T., Domine M.E., 2021 – TiO₂-Supported Pd as an Efficient and Stable Catalyst for the Mild Hydrotreatment of Tar-Type Compounds. *Nanomaterials*, 11, 2380. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano11092380> (in Eng.).

Bagheri S., Muhd Julkapli N., Bee Abd Hamid S., 2014 – Titanium dioxide as a catalyst support in heterogeneous catalysis. *The Scientific World Journal*, 2014, 727496. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/727496> (in Eng.).

Liu Y., Li Z., Green M., Just M., Li Y.Y., Chen X., 2017 – Titanium dioxide nanomaterials for photocatalysis. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50(19), 193003. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6463/aa6500> (in Eng.).

Dharma H.N.C., Jaafar J., Widiastuti N., Matsuyama H., Rajabsadeh S., Othman M.H.D., Rahman M.A., Jafri N.N.M., Suhaimin N.S., Nasir A.M., Alias N.H., 2022 – A Review of Titanium Dioxide (TiO₂)-Based Photocatalyst for Oilfield-Produced Water Treatment. *Membranes (Basel)*, 12(3), 345. DOI: <https://doi.org/10.3390/membranes12030345> (in Eng.).

Sanad M. M. S., Farahat M. M., El-Hout S. I., El-Sheikh S. M., 2021 – Preparation and characterization of magnetic photocatalyst from the banded iron formation for effective photodegradation of methylene blue under UV and visible illumination. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2), 105127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105127> (in Eng.).

Srinivasu, P., Singh, S. P., Islam, A., & Han, L., 2011 – Novel Approach for the Synthesis of Nanocrystalline Anatase Titania and Their Photovoltaic Application. *Advances in OptoElectronics*, 2011, 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1155/2011/539382> (in Eng.).

Kazeminezhad I., Mosivand S., 2014 – Phase Transition of Electrooxidized Fe₃O₄ to γ and α -Fe₂O₃ Nanoparticles Using Sintering Treatment. *Acta Phys. Polonica* 125(5), 1210–1214. DOI: <https://doi.org/10.12693/aphyspola> (in Eng.).

Kydralieva K.A., Dzhardimalieva G.I., Yurishcheva A.A., Jorobekova S.J., 2016 – Nanoparticles of Magnetite in Polymer Matrices: Synthesis and Properties. *J Inorg Organomet Polym*, 26, 1212–1230. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10904-016-0436-1> (in Eng.).

Gervits N.E., Gippius A.A., Tkachev A.V., Demikhov E.I., Starchikov S.S., Lyubutin I.S., Vasiliev A.L., Chekhonin V.P., Abakumov M.A., Semkina A.S., Mazhuga A.G., 2019 – Magnetic properties of biofunctionalized iron oxide nanoparticles as magnetic resonance imaging contrast agents. *Beilstein J. Nanotechnol*, 10, 1964–1972. DOI: <https://doi.org/10.3762/bjnano.10.193> (in Eng.).

Winsett J., Moilanen A., Paudel K., Kamali S., Ding K., Cribb W., Seifu D., Neupane S., 2019 – Quantitative determination of magnetite and maghemite in iron oxide nanoparticles using Mössbauer spectroscopy. *SN Appl. Sci.*, 1, 1636 DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1699-2> (in Eng.).

Zakharova I. N., Shipilin M. A., Alekseev V. P., Shipilin A. M., 2012 – Mössbauer Study of Maghemite Nanoparticles. *Technical Physics Letters*, 38(1), 55–58. DOI: <https://doi.org/10.1134/s1063785012010294> (in Eng.).

Mascolo M.C., Pei Y., Ring T.A., 2013 – Room Temperature Co-Precipitation Synthesis of Magnetite Nanoparticles in a Large pH Window with Different Bases. *Materials*, 6(12), 5549-5567. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma6125549> (in Eng.).

МАЗМҰНЫ

А.Б. Абдрахманова, А.Н. Сабитова, Н.М. Омарова ЛИТИЙ-ИОНДЫ АККУМУЛЯТОРЛАРҒА АРНАЛҒАН ЭЛЕКТРОЛИТТИК ЖҮЙЕЛЕРГЕ ШОЛУ.....	7
С. Айт, Ж.Ж. Тілепберген, У. Сұлтанбек, М. Жұрынов, А.Ф. Мифтахова α -САНТОНИННЫҢ Pt ЭЛЕКТРОДЫНДА ЭТАНОЛ ЖӘНЕ АЦЕТОНИТРИЛДІ ОРТАДА ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ТОТЫҒУЫН ЗЕРТТЕУ.....	22
Р.С. Алибеков, Г.Э. Орымбетова, М.К. Касымова, Э.М. Орымбетов, Ж.А. Абиш УЫТ ҚОСЫЛҒАН ҚАЙНАТЫЛҒАН ШҰЖЫҚТЫ ӨНДІРУ КЕЗІНДЕ ҚАУІПТІ ФАКТОРЛАРДЫ ТАЛДАУ.....	37
М.Д. Даулетова, А.К. Үмбетова, Г.Ш. Бурашева, М.И. Чаудхари, Н.Г. Гемеджиева <i>ATRAPHAXIS VIRGATA, ATRAPHAXIS PYRIFOLIA</i> ТЕКТЕС ӨСІМДІК ТҮРЛЕРІНІҢ МИНЕРАЛДЫҚ ҚҰРАМЫ МЕН ШЫНАЙЫЛЫҒЫН САЛЫСТЫРМАЛЫ ЗЕРТТЕУ.....	50
С.Д. Дузелбаева, Б.А. Касенова, З.С. Ахатова, С.Р. Конуспаев ЖҮН МАЙЫНЫҢ ҚҰРАМЫНА КІРЕТІН МАЙ ҚЫШҚЫЛДАРЫН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ.....	61
М. Жылқыбек, Т.С. Байжуманова, С.А. Тунгатарова, М.К. Еркибаева, Г.Г. Ксандопуло МЕТАННЫҢ ТЕРЕҢ ТОТЫҒУЫНДАҒЫ ОКСИДТІ КАТАЛИЗАТОРЛАРЫНЫҢ БЕЛСЕНДІ КОМПОНЕНТІНІҢ ФАЗАСЫН ТҰРАҚТАНДЫРУ ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫ.....	71
Е. Ихсанов, Ю. Шевелева, Ю. Литвиненко <i>DATURASTRA MONIUM</i> -НЫҢ КЕЙБІР ҚОСЫЛЫСТАРЫН ЖӘНЕ БАКТЕРИЦИДТІК БЕКЕНДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ.....	84
Г.Н. Калматаева, Г.Ф. Сагитова, В.И. Трусов, С.А. Сакибаева, Д.Д. Асылбекова, М.М. Абдибаева РЕГЕНЕРАТТЫҢ РЕЗИНА ҚОСПАЛАРЫ МЕН ОЛАРДЫҢ ВУЛКАНИЗАТТАРЫНЫҢ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ.....	96
М.К. Касымова, Р.С. Алибеков, А.Ж. Иманбаев, Г.Э. Орымбетова, М. Алтаева ВЕТЧИНА ТЕХНОЛОГИЯСЫНДА ЖИДЕНІ ҚОЛДАНУ.....	105
А.К. Койжанова, А.Н. Бакраева, М.Б. Ерденева, Д.Р. Магомедов ҚАЗАҚСТАННЫҢ БАЛАНСТАН ТЫС МЫС КЕН ОРЫНДАРЫН ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ӨНДЕУДІҢ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ.....	117
О.В. Рожкова, Муздыбаева Ш.А., К.Б. Мұсабеков, Д.М-К. Ибраимова, В.И. Рожков, М.Т. Ермеков ТАБИҒИ НАНОҚҰРЫЛЫМДЫҚ БЕЛСЕНДІ МИНЕРАЛДАР-БЕНТОНИТТИ ЗЕРТТЕУ АҒЫНДЫ СУЛАРДЫ ТАЗARTU ҮШІН.....	138
Э.Т. Талғатов, Ф.У. Бухарбаева, А.М. Кенжеева, Г.Ф. Әбдігапбарова, Т.А. Аубакиров ФЕНИЛАЦЕТИЛЕНДІ ГИДРЛЕУДЕГІ ТИТАН ДИОКСИДІ МЕН МАГНИТТИК ТЕМІР ОКСИДІНЕ ОТЫРҒЫЗЫЛҒАН ПАЛЛАДИЙ КАТАЛИЗАТОРЛАРЫ: ТАСЫМАЛДАУШЫНЫҢ ФОТОКАТАЛИТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНІҢ ӘСЕРІ.....	157
А.С. Тукибаева, А. Баешов, Р.Абжалов, Д. Асылбекова, А. Есентаева ҚЫШҚЫЛ ОРТАДА ФОСФИННІҢ АНОДТЫ ТОТЫҒУ ПРОЦЕСІНЕ МЫС (II) ИОНДАРЫНЫҢ РӨЛІ.....	175
С. Тұрғанбай, С.Б. Айдарова, К.Б. Мусабеков, А.Б. Исаева, Д.А. Аргимбаев ИОНДЫҚ ЖӘНЕ ИОНСЫЗ БЕТТІК АКТИВТІ ЗАТТАРДЫҢ КҮКІРТ БЕТІНЕ ЖҰҒУ ӘСЕРІ.....	187
А.А. Шарипова, А.Б. Исаева, Я. Катона, А.А. Бабаев, Г.М. Мадыбекова, Р. Сарсембекова ЗЕИН/КАНИФОЛЬДІҢ КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ НАНОБӨЛШЕКТЕРІНІҢ КОЛЛОИДТЫҚ-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ pH ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	199

СОДЕРЖАНИЕ

А.Б. Абдрахманова, А.Н. Сабитова, Н.М. Омарова ОБЗОР НА ЭЛЕКТРОЛИТНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ.....	7
С. Айт, Ж.Ж. Тилеберген, У. Султанбек, М. Журинов, А.Ф. Мифтахова ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ α -САНТОНИНА НА Pt-ЭЛЕКТРОДЕ В СРЕДЕ ЭТАНОЛА И АЦЕТОНИТРИЛА.....	22
Р.С. Алибеков, Г.Э. Орымбетова, М.К. Касымова, Э.М. Орымбетов, Ж.А. Абиш АНАЛИЗ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВАРЕНОЙ КОЛБАСЫ С ДОБАВЛЕНИЕМ СОЛОДА.....	37
М.Д. Даулетова, А.К. Умбетова, Г.Ш. Бурашева, М.И Чаудхари, Н.Г. Гемеджиева СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА И ДОБРОКАЧЕСТВЕННОСТИ РАСТЕНИЙ РОДА <i>ATRAPHAXIS VIRGATA</i> , <i>ATRAPHAXIS PYRIFOLIA</i>	50
С.Д. Дузелбаева, Б.А. Касенова, З.С. Ахатова, С.Р. Конуспаев АНАЛИЗ ЖИРНЫХ КИСЛОТ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ ШЕРСТНОГО ЖИРА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....	61
М. Жылкыбек, Т.С. Байжуманова, С.А. Тунгатарова, М.К. Еркибаева, Г.Г. Ксандопуло ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТАБИЛИЗАЦИИ ФАЗЫ АКТИВНОГО КОМПОНЕНТА ОКСИДНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ В ГЛУБОКОМ ОКИСЛЕНИИ МЕТАНА.....	71
Е. Ихсанов, Ю. Шевелева, Ю. Литвиненко ИЗУЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ СОЕДИНЕНИЙ И БАКТЕРИЦИДНОЙ АКТИВНОСТИ <i>DATURASTRA MONIUM</i>	84
Г.Н. Калматаева, Г.Ф. Сагитова, В.И. Трусов, С.А. Сакибаева, Д.Д. Асылбекова, М.М. Абдибаева ВЛИЯНИЕ РЕГЕНЕРАТА НА СВОЙСТВА РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ И ИХ ВУЛКАНИЗАТОВ.....	96
М.К. Касымова, Р.С. Алибеков, А.Ж. Иманбаев, Г.Э. Орымбетова, М. Алтаева ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЖИДА В ТЕХНОЛОГИИ ВЕТЧИНЫ.....	105
А.К. Койжанова, А.Н. Бакраева, М.Б. Ерденова, Д.Р. Магомедов ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЗАБАЛАНСОВЫХ МЕДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЗАХСТАНА.....	117
О.В. Рожкова, Ш.А. Муздыбаева, К.Б. Мусабеков, Д.М-К. Ибраимова, В.И. Рожков, М.Т. Ермеков ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВИРОВАННЫХ ПРИРОДНЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ МИНЕРАЛОВ- БЕНТОНИТА ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД.....	138
Э.Т. Талгатов, Ф.У. Бухарбаева, А.М. Кенжеева, Г.Ф. Әбдігапбарова, Т.А. Аубакиров ПАЛЛАДИЕВЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ, НАНЕСЕННЫЕ НА ДИОКСИД ТИТАНА И МАГНИТНЫЙ ОКСИД ЖЕЛЕЗА, В ГИДРИРОВАНИИ ФЕНИЛАЦЕТИЛЕНА: ВЛИЯНИЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НОСИТЕЛЯ.....	157
А. Тукибаева, А. Башов, Р. Абжалов, Д. Асылбекова, А. Есентаева РОЛЬ ИОНОВ МЕДИ (II) В ПРОЦЕССЕ АНОДНОГО ОКИСЛЕНИЯ ФОСФИНА В КИСЛОЙ СРЕДЕ.....	175
С. Турганбай, С.Б. Айдарова, К.Б. Мусабеков, А.Б. Исаева, Д.А. Аргимбаев ВЛИЯНИЕ ИОННЫХ И НЕИОННЫХ ПАВ НА СМАЧИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СЕРЫ.....	187
А.А. Шарипова, А.Б. Исаева, Я. Катона, А.А. Бабаев, Г.М. Мадыбекова, Р. Сарсембекова ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ PH НА КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ ЗЕИН/КАНИФОЛЬ.....	199

CONTENTS

A.B. Abdrakhmanova, A.N. Sabitova, N.M. Omarova A REVIEW ON ELECTROLYTIC SYSTEMS FOR LITHIUM-ION BATTERIES.....	7
S. Ait, Zh.Zh. Tilebergen, U. Sultanbek, M. Zhurinov, A.F. Miftakhova STUDY OF THE ELECTROCHEMICAL OXIDATION OF α -SANTONINE ON A Pt-ELECTRODE IN ETHANOL AND ACETONITRILE MEDIUM.....	22
R.S. Alibekov, G.E. Orymbetova, M.K. Kassymova, E.M. Orymbetov, Zh.A. Abish ANALYSIS OF HAZARDOUS FACTORS IN THE PRODUCTION OF BOILED SAUSAGE WITH ADDED MALT.....	37
M.D. Dauletova, A.K. Umbetova, G.Sh. Burasheva, M.I. Chaudhari, N.Zh. Gemedieva COMPARATIVE STUDY OF MINERAL COMPOSITION AND GOOD QUALITY OF PLANTS OF THE GENUS <i>ATRAPHAXIS VIRGATA</i> , <i>ATRAPHAXIS PYRIFOLIA</i>	50
S. Duzelbayeva, B. Kassenova, Z. Akhatova, S. Konuspayev ANALYSIS OF FATTY ACIDS INCLUDED IN WOOL FAT AND THEIR DISCUSSION.....	61
M. Zhylykybek, T.S. Baizhumanova, S.A. Tungatarova, M.K. Erkibaeva, G.G.Xanthopoulou REGULARITIES OF STABILIZATION OF THE ACTIVE COMPONENT OF OXIDE CATALYSTS IN DEEP OXIDATION OF METHANE.....	71
Y. Ikhsanov, A.S. Shevchenko, Yu. Litvinenko STUDY OF SOME COMPOUNDS AND BACTERICIDAL ACTIVITY OF <i>DATURA STRA</i> <i>MONIUM</i>	84
G.N. Kalmatayeva, G.F. Sagitova, V.I. Trusov, S.A. Sakibayeva, D.D. Asylbekova, M.M. Abdibayeva THE EFFECT OF REGENERATE ON THE PROPERTIES OF RUBBER COMPOUNDS AND THEIR VULCANIZATES.....	96
M.K. Kassymova, R.S. Alibekov, A.Zh. Imanbayev, G. Orymbetova, M. Altayeva USE OF JIDA IN HAM TECHNOLOGY.....	105
A. Koizhanova, A. Bakrayeva, M. Yerdenova, D. Magomedov INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF HYDROMETALLURGICAL PROCESSING OF OFF-BALANCE COPPER DEPOSITS IN KAZAKHSTAN.....	117
O.V. Rozhkova, Sh.A. Muzdybayeva, K.B. Musabekov, D.M-K. Ibraimova, V.I. Rozhkov, M.T. Yermekov RESEARCH OF ACTIVATE NATURAL NANOSTRUCTURAL MINERALS-BENTONITE USED FOR WASTEWATER TREATMENT.....	138
E.T. Talgatov, F.U. Bukharbayeva, A.M. Kenzheyeva, G.G. Abdigapbarova, T.A. Aubakirov PALLADIUM CATALYSTS DEPOSITED ON TITANIUM DIOXIDE AND MAGNETIC IRON OXIDE IN THE HYDROGENATION OF PHENYLACETYLENE: INFLUENCE OF PHOTOCATALYTIC PROPERTIES OF THE SUPPORT.....	157
A. Tukibayeva, A. Bayeshov, R. Abzhalov, D.D. Asylbekova, A. Yessentayeva THE ROLE OF COPPER (II) IONS IN THE PROCESS OF ANODIC OXIDATION OF PHOSPHINE IN AN ACIDIC MEDIUM.....	175
S. Turganbay, S.B. Aidarova, K.B. Musabekov, A.B. Issayeva, D. Argimbayev EFFECT OF IONIC AND NONIONIC SURFACTANTS ON WETTING OF SULFUR SURFACE.....	187
A.A. Sharipova, A.B. Issayeva, J. Katona, A.A. Babayev, G.M. Madybekova, R. Sarsembekova INVESTIGATION OF THE PH EFFECT ON THE COLLOIDAL-CHEMICAL PROPERTIES OF COMPOSITE ZEIN/ROSIN NANOPARTICLES.....	199

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

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.

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)

Подписано в печать 30.09.2023.

Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

11,0 п.л. Тираж 300. Заказ 3.