

ISSN (Print) 2616-6771

ISSN (Online) 2617-9962

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N. Gumilyov Eurasian
National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ХИМИЯ. ГЕОГРАФИЯ. ЭКОЛОГИЯ сериясы

CHEMISTRY. GEOGRAPHY. ECOLOGY Series

Серия ХИМИЯ. ГЕОГРАФИЯ. ЭКОЛОГИЯ

1(142)/ 2023

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Астана, 2023

Astana, 2023

Бас редактор Копишев Э.Е.
х.г.к., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Бас редактор Берденов Ж.Г.
PhD, қауымдас. проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Бас редактордың орынбасары Уәли А.С.
х.г.к., қауымдас. проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан

Редакция алқасы

Айбулдинов Е.К.	PhD, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Амерханова Ш.К.	х.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Атасой Е.	PhD, проф., Улудаг Университеті, Бурса, Түркия
Байсалова Г.Ж.	к.х.н., доцент., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Бейсенова Р.Р.	б.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Бакибаев А.А.	х.ғ.д., проф., Томск Политехникалық Университеті, Томск, Ресей
Жақупова Ж.Е.	х.ғ.к., доцент., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Джаналеева К.М.	проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Досмагамбетова С.С.	х.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Дунец А.Н.	проф., Алтай Мемлекеттік Университеті, Барнаул, Ресей
Еркасов Р.Ш.	х.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Жамангара А.К.	б.ғ.к., доцент., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Жангужина А.А.	PhD, аға оқытушы, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Иргебаева И.С.	х.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Инкарова Ж.И.	б.ғ.к., доцент., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Илеш А.	PhD, проф., Орадя университеті, Орадя, Румыния
Хуторянский В.В.	PhD, проф., Рендинг Университеті, Беркшир, Ұлыбритания
Масенов Қ.Б.	т.ғ.к., доцент., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Маштаева Ш.И.	г.ғ.д., доцент м.а., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Мустафин Р.И.	PhD, доцент., Қазан Мемлекеттік Медициналық Университеті, Қазан, Ресей
Озгелдинова Ж.	PhD, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Рамазанова Н.Е.	PhD, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Саипов А.А.	проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Саспугаева Г.Е.	PhD, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Сафаров Р.З.	х.ғ.к., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Шапекова Н.Л.	м.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Шатрук М.	PhD, проф., Флорида Мемлекеттік Университеті, Талахасси, АҚШ
Ян А. Вент	Хабилит. докторы, проф. Гдань Университеті, Гдань, Польша

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Сәтбаев к-сі, 2,
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 402 б.
Тел: +7 (7172) 709-500 (ішкі 31-413). E-mail: vest_chem@enu.kz

Жауапты хатшы, компьютерде беттеген: Е. Изтелеуова

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы.
Химия. География. Экология сериясы
Меншіктенуші: КеАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті»
Мерзімділігі: жылына 4 рет
Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінде 02.02.2021 ж.
№ KZ81VPY00031939 тіркеу куәлігімен тіркелген
Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Қажымұқан к-сі 13/1
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
Тел: +7 (7172)709-500 (ішкі 31-413). Сайт: <http://bulchmed.enu.kz>

Editor-in-Chief **Kopishev E.E.**
Candidate of Chemical Sciences, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Editor-in-Chief **Berdenov Zh.G.**
Ph.D., Associate Professor, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Deputy Editor-in-Chief **Uali A.S.**
Deputy Editor-in-Chief, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,
L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan

Editorial board

Aibuldinov E.K. Ph.D., L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Amerkhanova Sh. K. Doctor Chemical Sciences, Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Atasoy E. Prof., Uludag University, Bursa, Turkey
Baysalova G.Zh. Can. of Chemical Sciences, Assoc.Prof., L.N.Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Beysenova R.R. Doctor of Biological Sciences, Prof., L.N.Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Bakibayev A.A. Doctor of Chemical Sciences, Prof., Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
Dzhakupova Zh.E. Can. of Chemical Sciences, Assoc. Prof., L.N.Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Dzhanaleyeva K.M. Doctor of Geological Sciences, Professor, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Dosmagambetova S.S. Doctor of Chemical Sciences, Prof., L.N.Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Dunetc A. Doctor of Geographic Sciences, Prof., Altai State University, Barnaul, Russia
Erkassov R.Sh. Doctor of Chemical Sciences, Prof., L.N.Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Zhamangara A.K. Can. of Biological Sciences, Assoc. Prof., L.N.Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Zhanguzhina A.A. Ph.D., Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
Irgibayeva I.S. Doctor Chemical Sciences, Prof., L.N.Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Inkarova J.I. Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Ilesh A. Ph.D., Professor, University of Oradea, Oradea, Romania
Khutoryanskiy V.V. PhD, Prof., Universit, of Reading, Berkshire, Great Britain
Massenov K.B. Can. of Technical Sciences, Assoc. Prof., L.N.Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Mashtaeva Sh.I. Ph.D., Acting Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
Mustafin R.I. PhD, Assoc.Prof., Kazan State Medical University, Kazan, Russia
Ozgeldinova Zh. PhD, L.N.Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Ramazanova N.E. PhD, L.N.Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Saipov A.A. Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Saspugayeva G.E. PhD, Assoc. Prof., L.N.Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Safarov R.Z. Candidate of Chemical Sciences, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Shapekova N.L. Doctor of Medical Sciences, Prof., L.N.Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Shatruk M. PhD, Prof., Florida State University, Tallahassee, USA
Jan A. Wendt Dr.habil., Prof., Gdansk University, Poland

Editorial address: 2, Satpayev str., of. 402, L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Kazakhstan, 010008
Tel.: +7 (7172) 709-500 (ext. 31-413), E-mail: vest_chem@enu.kz

Responsible secretary, computer layout: **Yelena Izteleuova**

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.
Chemistry. Geography. Ecology Series

Owner: Non-profit joint-stock company «L.N. Gumilyov Eurasian National University»

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan Registration certificate № KZ81VPY00031939 from 02.02.2021

Address of Printing Office: 13/1 Kazhimukan str., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan 010008

Tel: +7 (7172) 709-500 (ext.31-413). Website: <http://bulchmed.enu.kz>

© L.N. Gumilyov Eurasian National University

Главный редактор **Копишев Э.Е.**
к.х.н., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Главный редактор **Берденов Ж.Г.**
PhD, Ассоц. проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Зам. главного редактора **Уали А.С.**
к.х.н., Ассоц. проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Редакционная коллегия

Айбубулынов Е.К.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Амерханова Ш.К.	д.х.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева Астана, Казахстан
Атасой Е.	PhD, проф., Университет Улудаг, Бурса, Турция
Байсалова Г.Ж.	к.х.н., доцент., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Бейсенова Р.Р.	д.б.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Бакибаев А.А.	д.х.н., проф., Томский Политехнический Университет, Томск, Россия
Джакупова Ж.Е.	к.х.н., доцент., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Джаналеева К.М.	д.г.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Досмагамбетова С.С.	д.х.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Дунец А.Н.	д.г.н., проф., Алтайский Государственный Университет, Барнаул, Россия
Еркасов Р.Ш.	д.х.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева Астана, Казахстан
Жамангара А.К.	к.б.н., доцент., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Жангужина А.А.	PhD, ст. преподаватель, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Иргибаева И.С.	д.х.н., проф., доцент., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Инкарова Ж.И.	к.б.н., доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Илеш А.	PhD, проф., Университет Орадя, Орадя, Румыния
Хуторянский В.В.	PhD, проф. Университет, Рединг Беркшир, Великобритания
Масенов К.Б.	к.т.н., доцент., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева Астана, Казахстан
Маштаева Ш.И.	к.г.н., и.о. доцент., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Мустафин Р.И.	PhD, доцент., Казанский Государственный Медицинский Университет, Казань, Россия
Озгелдинова Ж.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Рамазанова Н.Е.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Сайпов А.А.	д.п.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Саспугаева Г.Е.	PhD, доцент., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Сафаров Р.З.	к.х.н., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Шапекова Н.Л.	д.м.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Шатрук М.	PhD, проф., Государственный Университет Флорида, Талахасси, США
Ян А.Вент	Хабилит. доктор Гданьский Университет, Гданьск, Польша

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2,
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, каб. 402
Тел.: +7(7172) 709-500 (вн. 31-413). E-mail: vest_chem@enu.kz

Ответственный секретарь, компьютерная верстка: **Е. Изтелеуова**

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.

Серия Химия. География. Экология

Собственник: НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»

Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан Регистрационное свидетельство № KZ81VPU00031939 от 02.02.2021 г.

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Кажымукана, 13/1,

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Тел.: +7(7172)709-500 (вн.31-413). Сайт: <http://bulchmed.enu.kz>

МАЗМҰНЫ/ CONTENTS/ СОДЕРЖАНИЕ

ХИМИЯ/ CHEMISTRY

<i>Битурсын С.С., Баешов А., Шертаева Н.Т., Сарбаева М., Керимбаева К.З.</i> Бейтарап ортада (Na_2SO_4) айнымалы токпен поляризацияланған мырыш электродының электрохимиялық еруі	9
<i>Bitursyn S.S., Baeshov A., Shertayeva N.T., Sarbayeva M.T., Kerimbaeva K.Z.</i> Electrochemical dissolution of a zinc electrode polarized by alternating current in a neutral medium (Na_2SO_4)	9
<i>Битурсын С.С., Баешов А., Шертаева Н.Т., Сарбаева М.Т., Керимбаева К.З.</i> Электрохимическое растворение цинкового электрода, поляризационным переменным током в нейтральной среде (Na_2SO_4)	9
<i>Нурпейсова Д.Т., Ташенов А.К., Джакупова Ж.Е., Досмагамбетова С.С., Тосмаганбетова К.С., Омарова Л.С.</i> Кобальт (II) және мыс (II) фтаоцианинмен октохлоралмастырылған кешендерінің синтезі	22
<i>Nurpeisova D.T., Tashenov A.K., Jakupova Zh.Ye., Dosmagambetova S.S., Tosmaganbetova G.S., Omarova L.S.</i> Synthesis of octochlorosubstituted cobalt(II) and copper(II) complexes with phthalocyanine	22
<i>Нурпейсова Д.Т., Ташенов А.К., Джакупова Ж.Е., Досмагамбетова С.С., Тосмаганбетова К.С., Омарова Л.С.</i> Синтез октохлорзамещенных комплексов кобальта(II) и меди (II) с фталоцианином	22
<i>Ганиев Б.Ш., Мардонов У.М., Ашууров Ж.М.</i> Глутаминнің әртүрлі формаларын dft талдауды зерттеу	31
<i>Ganiyev B.Sh., Mardonov U.M., Ashurov J.M.</i> Studying dft analysis of various forms of glutamine	31
<i>Ганиев Б.Ш., Мардонов У.М., Ашууров Ж.М.</i> Изучение dft анализа различных форм глутамина	31
<i>Куликов М., Копишев Э.</i> Шолу: Катализдік түрлендіргіштерден платина тобындағы металдарды бөліп алу	37
<i>Kulikov M., Kopishev E.</i> Review: Extraction of platinum group metals from catalytic converters	37
<i>Куликов М., Копишев Э.</i> Обзор: Извлечение металлов платиновой группы из каталитических конвертеров	37

ГЕОГРАФИЯ. ЭКОЛОГИЯ/ GEOGRAPHY. ECOLOGY

<i>Гагина Н.В., Яротов А.Е., Галай Е.И.</i> Тұрақты даму парадигмасындағы экотуризмні территориялық ұйымдастыру (Иванов ауданы мысалында)	72
<i>Nahina N.V., Yarotau A.E., Galai E.I.</i> Territorial ecotourism organization in sustainable development paradigm (on the example of Ivanovo district)	72
<i>Гагина Н.В., Яротов А.Е., Галай Е.И.</i> Территориальная организация экотуризма в парадигме устойчивого развития (на примере Ивановского района)	72
<i>Кеукенов Е., Джаналеева К., Барышников Г., Оразымбетова К.</i> Қарқаралы аласа тауларының ландшафт түзуші факторлары	83
<i>Keukenov Y., Dzhanalееva K., Baryshnikov G., Orazymbetova K.</i> Landscape forming factors of the Karkaraly low mountains	83
<i>Кеукенов Е., Джаналеева К., Барышников Г., Оразымбетова К.</i> Ландшафтообразующие факторы Каркаралинских низкогорий	83
<i>Атаева Г.М.</i> Батыс Қазақстан далалары негізгі бірлестіктерінің биологиялық өнімділігінің маусымдық динамикасы	95
<i>Ataeva G.M.</i> Seasonal dynamics of biological productivity the main associations of the steppes of West Kazakhstan	95
<i>Атаева Г.М.</i> Сезонная динамика биологической продуктивности основных ассоциаций степей Западного Казахстана	95
<i>Байшоланов С.С., Оралбекова Н.А.</i> Түркістан облысында агрометеорологиялық жағдайлардың ерекшеліктері	106
<i>Baisholanov S.S., Oralbekova N.A.</i> Features of agrometeorological conditions in the Turkestan region	106
<i>Байшоланов С.С., Оралбекова Н.А.</i> Особенности агрометеорологических условий в Туркестанской области	106

Л.А. Кусепова, Г.К. Тажкенова

*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева
(Email: kusepova71@mail.ru, gaukhar-1970@mail.ru)*

К 75-летию со дня рождения

24 февраля 2023 года доктору химических наук, профессору Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, основателю научного направления по синтезу и анализу координационных соединений на кафедре химии ЕНУ Еркасову Рахметулла Шарапиденовичу исполнилось 75 лет.

Рахметулла Шарапиденович родился 1948 года в с. Успенка, Павлодарской области. В 1966 году окончил с медалью Успенскую среднюю школу №1 и в этот же год поступил на химический факультет Томского государственного университета им.В.В. Куйбышева.

По окончании 2 курса перевелся в Казахский госуниверситет им. С.М. Кирова (КазГУ), который окончил с отличием в 1971 году. Начало трудовой и научной деятельности было связано с кафедрой неорганической химии КазГУ, на которой он прошел путь: от стажера-исследователя до заведующего этой кафедрой. С 1973 по 1976 годы учебы в аспирантуре Казахского государственного университета имени С. М. Кирова. В 1976 году в КазГУ защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование взаимодействия неорганических кислот с бензамидом и ацетанилидом», в 1992 году – докторскую диссертацию «Физико-химические основы синтеза и свойства соединений неорганических кислот с производными ацетамида, перспективы их применения» в Воронежском государственном университете, профессор с 1993 года. В 1994 г. назначен заведующим кафедрой неорганической химии КазНУ им. аль-Фараби.

В 1997 г. провинциальный город Акмола стал центром притяжения, в том числе и ученых, как нашей страны, так и зарубежья. Получив приглашения от Кусаинова А.К. – ректора Евразийского университета им.Л.Н. Гумилева, Рахметулла Шарапиденович становится в проректором по научной работе и международным связям. Начало 2000-х г. является начальным этапом развития Евразийского университета – это открытие новых специальностей (бакалавриат, аспирантура, докторантура), строительство современных учебных и научных корпусов, общежитий для студентов, жилья для молодых преподавателей и заслуженных ученых и многое другое. Продолжив научную деятельность и дав возможность заниматься молодежи исследовательской работой по изучению координационных соединений и процессов их взаимодействия, под руководством профессора Еркасова Р.Ш. защитили кандидатские диссертации и работают на кафедре химии ЕНУ им. Л.Н.Гумилева его ученики – доценты Кусепова Л.А., Тажкенова Г.К., Колпек А.К. Был научным руководителем PhD диссертации и.о. профессора Байсаловой Г.Ж.

В 2001 году министерство образования и науки направило Еркасова Р.Ш. в Кокшетауский госуниверситет им.Ш. Уалиханова первым проректором, т.к. подготовка научных и педагогических кадров была основной заботой в работе университета. В период работы в КГУ был научным руководителем диссертаций.

В марте 2005 года вернулся в Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева директором (деканом) естественно-технического института (факультета).

В октябре 2006 года Рахметулла Шарапиденович решил вернуться на свою Родину, где был принят на работу в Павлодарский госуниверситет им. С.Торайгырова директором Регионального химико-технологического лабораторного комплекса, а затем избран на должность заведующего кафедрой химических технологий. За короткий период в ПГУ подготовил 4 кандидата химических наук. В июле 2009 года уволился из этого университета в связи с необеспечением жильем.

Был членом экспертного совета МОН РК по присуждению ученых степеней, членом экспертной комиссии по присуждению государственных премий РК в области науки, техники и образования.

Несмотря на то, куда бы не направляли работать Еркасова Р.Ш. им всегда проводилась целенаправленная и интенсивная работа в области его научных исследований – физико-химический анализ многокомпонентных систем, химия координационных соединений, в том числе химия спин-

кроссоверных превращений. Он является представителем крупной научной школы, занимающейся разработкой теоретических основ получения нового типа солей со сложными катионами протонированных амидов, а также координационных соединений, обладающих магнитными свойствами. Технические условия получения более 70 амидкислот внесены в реестр ИРЕА (г. Москва), в российские каталоги «Заказные реактивы», «Химические реактивы и высокочистые вещества». Сведения по термодинамическим данным включены в банк данных Техасского термодинамического центра (США). Данные по структурам более 10 координационных соединений солей железа (II) обладающих магнитными свойствами внесены в Кембриджский банк данных.

Под руководством профессора Еркасова Р.Ш. защищены 19 кандидатских диссертаций и 7 диссертации PhD. В настоящее время под его руководством совместно с учеными Томского государственного университета профессорами Курзиной И.А. и Бакибаевым А.А. и профессором университета штата Флорида М.Шатрук ведется подготовка еще 5 докторантов. Им опубликовано 2 монографии, более 500 научных статей, из них 85 с импакт-фактором по базе Web of Science, 4 учебника и пособий, 20 методических разработок, получено 10 авторских свидетельств и патентов. Его индекс Хирша равен 5.

В течение многих лет являлся членом диссертационных советов по защите докторских диссертаций (КазГУ им. ал-Фараби, ЦКО НАН РК, КарГУ им. Е.Букетова), в настоящее время является членом совета по защите PhD диссертаций при КарГУ им. Е.Букетова, в Казахском национальном женском педагогическом университете г. Алматы.

Был членом редакционных коллегий научных журналов «Вестник» КарГУ, в настоящее время - ЕНУ, КГУ.

Является научным руководителем фундаментальных исследований по проблемам синтеза соединений солей биометаллов с амидами, обладающих биологической активностью, а также научным руководителем фундаментальных исследований, финансируемых МОН РК стипендиатов Международной федерации ученых Швейцарии – World Federation of Scientists.

Еркасов Р.Ш. обладатель государственного гранта Республики Казахстан «Лучший преподаватель вуза на 2010 год», стипендии для ученых, внесших выдающийся вклад в развитие науки и техники РК (2014 г.).

Он награжден юбилейной медалью «За доблестный труд в ознаменование 100 – летия со дня рождения В.И.Ленина», нагрудным знаком «За заслуги в развитии науки Республики Казахстан» (2007 г.), а также юбилейными медалями «80 лет КазНУ им. Аль-Фараби», «60 лет Кокшетаускому университету им. Ш.Уалиханова», «Еуразия университетіне 25 жыл», медалями «Лев Гумилев» и «Күлтегін».

Кусенова Л.А. – к.х.н., доцент кафедры химия, факультета Естественных наук Евразийского Национального университета им.Л.Н.Гумилева, ул.Қажымукана 13, Астана, Казахстан

Тажкенова Г.К. – к.х.н., доцент кафедры химия, факультета Естественных наук Евразийского Национального университета им.Л.Н.Гумилева, ул.Қажымукана 13, Астана, Казахстан



МРНТИ: 31.15.33

С.С.Битурсын¹, А.Баешов², Н.Т.Шертаева³,
М.Сарбаева⁴, К.З.Керимбаева⁵

^{1,3,5}Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік педагогикалық университеті,
Шымкент, Қазақстан

² Д.В.Сокольский атындағы органикалық катализ және
электрхимия институты, Алматы, Қазақстан

⁴К.А.Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Түркістан, Қазақстан

(E-mail: ²bayeshov@mail.ru, ³Nailyaximik@mail.ru,

⁴makpal.sarbayeva@ayu.edu.kz, ⁵kulyash_62@mail.ru)

Байланыс үшін автор: sbitursyn@mail.ru¹

Бейтарап ортада (Na₂SO₄) айнымалы токпен поляризацияланған мырыш электродының электрохимиялық еруі

Аңдатпа. Мақалада потенциалды поляризация қисықтары арқылы мырыштың электрохимиялық еруі қарастырылады. Мырыш ерітіндіде екі валентті иондар түрінде анодты еріген кезде және одан әрі сумен әрекеттескенде электрод бетінде пассивті қабат түрінде мырыш гидроксиді түзілетіні анықталды. Сонымен қатар, натрий сульфаты ерітіндісінде мырыш электродының жиілігі 50 Гц өндірістік айнымалы ток қатысындағы еру заңдылықтары зерттелді. Мырыш электродының натрий сульфаты ерітіндісінде мырыш гидроксиді түзе электрохимиялық еру ерекшеліктері анықталып, оларға әртүрлі факторлардың әсері қарастырылды. Мырыш электродын айнымалы токпен поляризациялағанда оның еруінің ток бойынша шығымы ток тығыздығын 200-800 А/м² интервалында мырыштың еруінің ток бойынша шығымы және еру жылдамдығы төмендейді. Ток тығыздығы 200 А/м² болғанда ток бойынша шығымы 74%, ал еру жылдамдығы 255,625 г/м²·сағ құрайды. Ал ток тығыздығын 600 А/м² жоғарлатқанда 5,3% және еру жылдамдығы 35,375 г/м²·сағ дейін төмендейді. Ток тығыздығын одан әрі 800 А/м² жоғарлатқанда мырыш электроды мүлдем еруін тоқтатады. Ерітінді концентрациясы 0,25 М болғанда мырыштың ток бойынша еру шығымы 62%, ал еру жылдамдығы 231,5 г/м²·сағ құрайды, ал ерітінді концентрациясын 2,0 М дейін жоғарлатқанда 90% және 332,75 г/м²·сағ құрайды. Электролиз ұзақтығын 0,25 сағаттан 2,0 сағатқа арттырғанда мырыш иондарының ток бойынша шығымы төмендейді. 0,25 сағатта ток бойынша шығым - 94,89%, ал 1,5 сағатта 90% құрайды. Температура әсеріне тоқталсақ, 20-80°C температура аралығында ток бойынша шығым мен металдың еру жылдамдығы төмендейді. Ток бойынша шығым 20°C - 90%, 80°C - 70%, ал еру жылдамдығы сәйкесінше 332,75 г/м²·сағ және 258,875 г/м²·сағ құрайды.

Түйін сөздер: мырыш, электроды, поляризация, электрохимия, бейтарап орта, айнымалы ток, поляризациялық қисық, натрий сульфаты ерітіндісі, анод, катод, ерітінді.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2023-142-1-9-21>

Кіріспе

Қазіргі таңда актуалды мақсаттардың бірі арзан өндірістік айнымалы токты қолдану арқылы мырыштың өндірісте аса қажетті қосылыстарын арудың жаңа әдістерін өңдеу болып табылып отыр.

Соңғы жылдары металл қосылыстарының электрохимиялық әдіспен алынуы осы салада болашағы бар бағыт болып саналады. Электрохимиялық әдістің негізгі жетістігі – аса таза өнім алу мүмкіндігінің болуы, ал процесті белгілі параметрлерде жүргізу әдістің практикалық құндылығын арттырады.

Мырыш қосылыстарын қолдану аумағы соңғы жылдары аса дамыған металлургия, космос техникасында, акусто-, микро-, оптоэлектроникада, электрофотографияда, фотокошірмеде, люминифор өндірісінде, фотоэлементтер, аккумулятор батареяларында, катализатор, газ детекторы, резина өндірісінде, композициялық және полимер материалдарын қолданғанда, цемент, шыны, керамика, пигмент, бояу өндірістерінде қолданылады [1-3].

Жұмыстың негізгі мақсаты – бейтарап ортада синусоидалы өндірістік айнымалы токпен поляризацияланған мырыштың электрохимиялық қасиетін зерттеу және металдың еруіне әртүрлі факторлардың (ток тығыздығы, электролит концентрациясы мен температурасы, электролиз уақыты және т.б.) әсерін анықтау және оның қосылыстарын алу.

Осыған байланысты жұмыста келесі міндеттер қойылды:

- Мырыштың сулы ерітінділердегі электрохимиялық қасиеті потенциодинамикалық поляризациялық қисықтар түсіру арқылы зерттеу;
- мырышты сулы ерітінділерде синусоидалы айнымалы токпен поляризацияланған кезіндегі электродта жүретін электрохимиялық процестердің табиғатын анықтау;
- мырыштың электрохимиялық қасиетіне - ток тығыздығының, электролит концентрациясының, температураның, электролиз ұзақтығының әсерін анықтау;
- еріген мырыштың мөлшері мен ток бойынша шығымына поляризация жағдайының әсерлерін анықтау;
- айнымалы токпен поляризацияланған мырыш электродын электрохимиялық жолмен зерттеу барысында алынған өнімді анықтау.

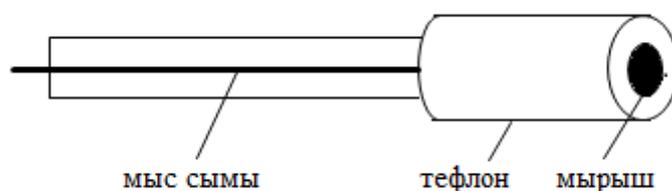
Зерттеу материалдары мен әдістері

Жұмыста қолданылатын негізгі әдістердің бірі IPC Pro потенциостатында потенциодинамикалық вольтамперлік қисық түсіру әдісі болып табылады.

Вольтамперлік өлшеулер анодты және катодты кеңістіктермен бөлінген шыныдан жасалған герметикалық ыдыста үшэлектродты ұяшықта жүргізілді. Поляризациялық қисықтар персональды компьютерде орнатылған IPC 2000 программасы көмегімен тіркеліп отырды. Жұмыс электроды ретінде фторопластқа орнатылған, жұмыс беті ретінде электродтың беткі беті қатыстырылған диаметрі - 4 мм мырыш сымы қолданылды (3.1-сурет). Салыстырмалы электрод ретінде қаныққан KCl ($E=+203$ мВ) ерітіндісіне батырылған күміс-хлор электроды және көмекші электрод ретінде ауданы үлкен платина сымы қолданылды.

Вольтамперограммалар негізінен 20 – 70 °С температура интервалында, сондай-ақ потенциал беру жылдамдығы 30-200 мВ/с болғанда түсірілді. Айнымалы токтың әсерінен жүргізілген процестің механизмін анықтау үшін циклдік поляризациялық қисықтар түсірілді.

Зерттеу жұмысында жұмысшы электроды ретінде мырыш электроды алынды. Спектральды анализ нәтижелері бойынша алынған электрод құрылысы 1.1 сурет пен 1 - кестеде келтірілген.



Сурет 1.1 – Мырыш электроды

Кесте 1 – Спектральды анализ нәтижелері бойынша алынған мырыш электроды құрамы

Элементтер	O	Mg	Si	P	Ca	Zn	Барлығы %
Спектр 1	5,63	0,55	0,49	0,39	0,34	92,60	100,00
Спектр 2	5,95	0,14	0,26	0,47	0,00	93,17	100,00
Спектр 3	1,79	0,00	0,23	0,00	0,00	97,98	100,00
Орташа	4,46	0,23	0,33	0,29	0,11	94,58	100,00

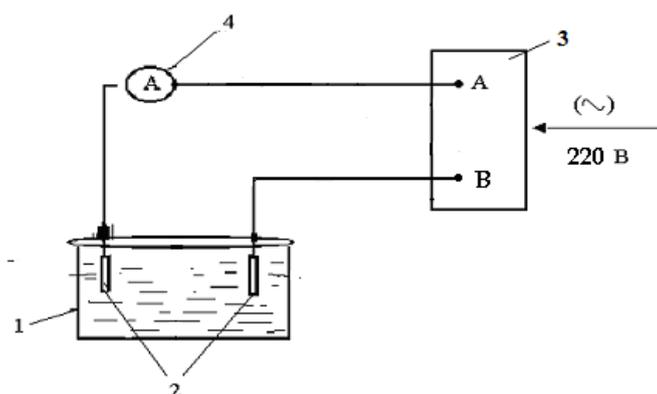
Өлшеулер келесі жағдайларда дайындалып жүргізілді: электрод беті мұқият тазаланып, тегістеліп, содан кейін спиртпен майсыздандырылып отырды. Зерттелінетін электрод тиісті ерітіндіге батырылып, стандартты потенциалы орнағанға дейін ұсталды. Содан кейін берілу потенциалы белгілі жылдамдықпен қосылды және сәйкес потенциодинамикалық поляризациялық қисықтар түсірілді.

Біздің жұмыстарымызда мырыш электродының анодты тотығуы келесі ерітінділерде потенциодинамикалық поляризациялық қисықтар түсіру арқылы зерттелінді:

- 0,25 M Na_2SO_4 + 0,5 M H_2SO_4 ;
- 0,5 M Na_2CO_3 ;
- 0,5M NaNO_3 + 0,5M HNO_3 ;
- 0,5M KCl + 0,01 M HCl ;
- 0,5M CH_3COOH ;
- 0,25M $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ + 0,5M H_3PO_4 және
- 2 M KOH ерітінділерінде.

Ерітінді дайындау үшін «ХТ» маркалы химиялық реактивтер дистелденген суда дайындалды.

Мырыштың сулы ерітінділердегі электрохимиялық еруін зерттеу үшін негізгі тәжірибелер электрод кеңістіктері бөлінбеген электролизерде жүргізілді. Айнымалы токпен жүргізілген электрод поляризациясы В-24 аспабы арқылы жүргізілді. Жұмысшы электродтарының қызметін титан және мырыш пластинкалары атқарды. Өндірістік айнымалы ток арқылы металдардың электрохимиялық еруін анықтау екі әдіспен жүргізілді. Бірінші жағдайда екі мырыш электроды айнымалы токпен поляризацияланды, ал екінші жағдайда – мырыш және титан электродтары алынды. Екінші көмекші электрод ретінде алынған титан электродының беттік ауданы мырыш электродына қарағанда 40-60 есе шамасында аз. Титан және мырыш электродтары эксперимент алдында майда ұнтақты түрпі қағазбен өте мұқият тазаланып, майсыздандырылып, дистильденген сумен жуылып отырды. Мырыштың ион түрінде ерітіндіге өткені электрод салмағының кемуі арқылы анықталып отырды. Өндірістік айнымалы ток электролизіне арналған қондырғының сызбанұсқасы 1.2-суретте көрсетілген.



Сурет 1.2 – Мырыш электродын айнымалы токпен поляризациялау арқылы мырыш қосылыстарын синтездеуге арналған қондырғының принципияльды схемасы:

- 1 – электродлизер; 2 – мырыш және титан электродтары;
3 – айнымалы ток түзеткіші; 4 – амперметр.

Зерттеу жұмыстарында қолданылған барлық химиялық реактивтердің тазалық дәрежесі «химиялық таза» деген атауларға сәйкес келеді. Барлық ерітінділер дистилденген суда дайындалды.

Электродлизден кейін алынған ерітіндідегі мырыш иондарының сандық мөлшері салмақтық және комплексонометриялық анализ әдістерімен анықталды [4].

Электродлизге дейінгі және кейінгі мырыш электродының салмағы үнемі өлшеніп отырды.

Рентгендік зерттеулер 2,0 БСВ 24-Си рентгендік трубкасы бар, ДРОН-3 (жалпы мақсатқа арналған рентгендік дифрактометр) қондырғысында жүргізілді. Детектордың жылжу бұрышының диапазоны (4° - 64°) гониометрлік қондырғының шкаласы бойынша есептелінді және өзі жазатын потенциометрде лентаға түсіріліп отырды. Түсіріп алынған рентгенограмманың мағынасын ашып түсіндіру ASTM американдық картотеканың көмегімен жасалды.

Эксперимент нәтижелері сипаттау үшін статистикалық әдістер қолданылды, яғни математикалық әдістемелер, формулалар, сандық есептеу әдістері, олардың көмегімен эксперимент барысында алынған мәндерді жалпылауға, бір жүйеге келтіруге, оларда жасырылған заңдылықтарды ашуға мүмкіндік берді. Біз тәжірибеде зерттелген айнымалылар арасында болатын статистикалық сипаттағы осындай заңдылықтар туралы айтып отырмыз. Математикалық және статистикалық талдаудың кейбір әдістері деректердің таңдамалы үлестірімін есептеуге мүмкіндік берді, мысалы, таңдамалы орташаны және дисперсияны анықтау.

Тәжірибе нәтижелері статистикалық өңделді. Тәжірибе нәтижесі 34,87; 37,86; 36,83; орташа мәні – 36,52. Салыстырмалы қателік мәндері сәйкесінше келесі: 4,51%, 3,67% және 0,85% құрады. Бірінші және екінші салыстырмалы қателік қанағаттанарлық деңгейді, ал үшінші қателік өте жоғары дәлдікті көрсетті.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

Натрий сульфаты ерітіндісінде айнымалы токпен поляризацияланған мырыш электродының электрохимиялық еруін зерттеу алдын поляризациялық қисықтар түсіру арқылы мырыш электродының нейтрал ерітінділердегі циклді потенциодинамикалық поляризациялық қисықтары түсірілді.

Поляризациялық қисықтар натрий карбонаты ерітіндісінде түсірілді. Мырыш электродының натрий карбонаты ерітіндісіндегі анодты потенциодинамикалық

қисықтарында ортаның әсері рН=11-6 аралығында зерттелінді. Айта кету керек, 0,5М Na_2CO_3 ерітіндісінде рН=11 тең. Бұл рН мәнінде мырыш электроды электрохимиялық активтілік көрсетпейді (сурет 1.3, қисық 1).

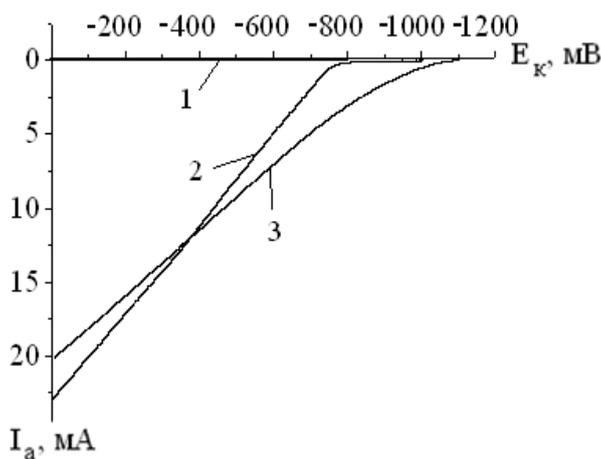
Ерітінді ортасының қышқылдылығын жоғарылатқанда мырыштың «минус» 780 мВ бастап еруі іске асады (сурет 1.3, қисық 2). Ары қарай ортаның қышқылдылығын жоғарылату мырыштың еруіне оңтайлы әсер етеді және «минус» 1200 мВ бастап оның тотығуы іске асады (сурет 1.3, қисық 3). Соңғы екі жағдай да мырыштың еруі 1- реакция бойынша іске асады [5].



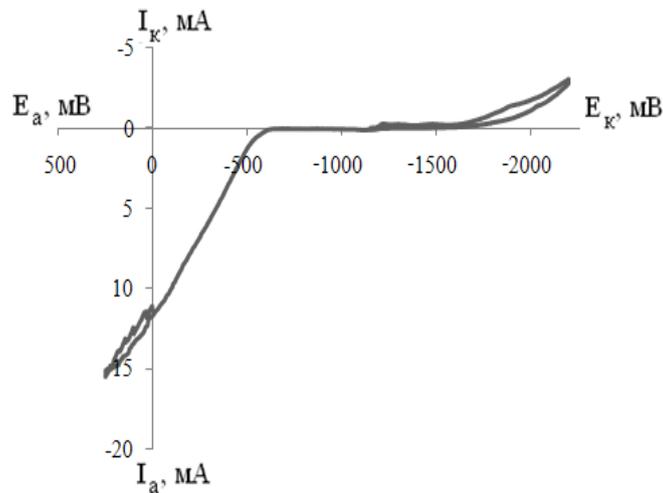
Жоғарыдағы тіркелген қисықтарды түбегейлі түсіну мақсатында мырыш электродында катодты-анодты, анодты-катодты потециодинамикалық поляризациялық қисықтар түсірілді. 1.4-суретте көрсетілгендей потенциал мәнін катод бағытына ығыстыру кезінде «минус» 1700 мВ бастап сутегі ионының тотықсыздану потенциалының мәніне сәйкес келетін толқын байқалады. Потенциал мәнін катодтан анод бағытына қарай ығыстырғанда, -700 мВ-та мырыштың тотығу реакциясының жүретіндігін көруге болады. Келесі 1.5-суретте мырыш электродында анодты-катодты поляризациялық қисықта потенциал мәнін анод бағытына ығыстырғанда жоғарыда тіркелген потенциал мәніне сәйкес келетін мырыштың тотығуы тіркелді, ал потенциал мәнін анодтан катод бағытына қарай ығыстырғанда ерітіндіге ион күйінде өткен мырыштың «минус» 1000 мВ-тан бастап қайта тотықсыздану тоғы және одан теріс потенциалдарда сутегі ионының тотықсыздану тоғы тіркеледі.

Біздің зерттеу жұмысымызда екі мырыш электродын натрий сульфаты, натрий карбонаты және калий гидроксиді ерітіндісінде жиілігі 50 Гц өндірістік айнымалы токпен поляризациялаған кезде, металдың еруі іс жүзінде жүрмейтіндігі, ал бір электродты титан сымымен алмастырғанда, мырыштың қарқынды еритіндігі анықталды.

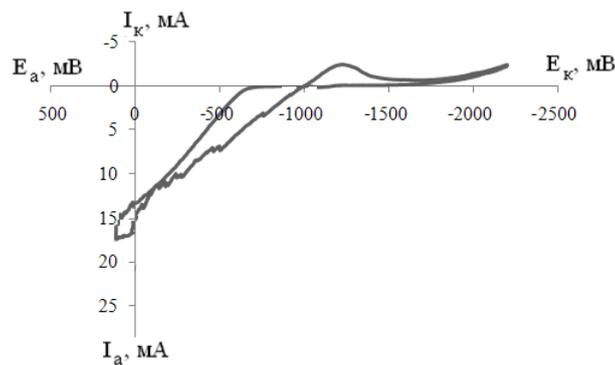
Мырыш және титан электродтарын айнымалы токпен поляризациялағанда мырыштың электрохимиялық еруін, айнымалы токтың анодтық жартылай периодында, титан электродының бетінде түзілген әртүрлі құрамдағы оксидті қабаттардың (Ti_xO_y) жартылай өткізгіштік қасиетімен түсіндіруге болады. Мұнда титан электроды электрлік түзеткіш және көмекші электрод қызметтерін атқарады [4-8].



Сурет 1.3 – Мырыш электродында түсірілген анодты потециодинамикалық поляризациялық қисық: $[\text{Na}_2\text{CO}_3]=0,5\text{M}$, $V = 100 \text{ мВ/с}$, $t = 25^\circ\text{C}$, рН: 1 – 11, 2 – 9, 3 – 6



Сурет 1.4 – Мырыш электродында түсірілген циклды катодты-анодты потенциодинамикалық поляризациялық қисық: $[Na_2CO_3] = 0,5M$, $V = 100$ мВ/с, $t = 25^\circ C$, $pH = 9$



Сурет 1.5 – Мырыш электродында түсірілген циклды анодты-катодты потенциодинамикалық поляризациялық қисық: $[Na_2CO_3] = 0,5M$, $V = 100$ мВ/с, $t = 25^\circ C$, $pH = 9$

Ұсынылып отырған жұмыста жиілігі 50 Гц натрий сульфаты ерітіндісінде айнымалы токпен поляризацияланған мырыш электродының электрохимиялық еруі титан электродымен жұптастыра зерттелінді. Электролиз процесіне әртүрлі параметрлер: титан және мырыш электродтарындағы ток тығыздықтары, электролит концентрациясы, электролиз ұзақтығы және электролит температурасының әсері анықталды [4-8].

Алғашқыда натрий сульфаты ерітіндісінде екі мырыш электродын айнымалы токпен поляризациялағанда мырыштың еру процесі өте баяу жүрді. Мырыш электродтарының біреуін титан сымымен алмастырғанда, металдың бірден жылдам еруі байқалды. Айнымалы токпен поляризациялау кезіндегі еріген мырыш электродтарының ток бойынша шығымы анодтық жартылай периодқа есептелінді. Ерітіндіге өткен мырыш иондарының мөлшерін электродтарды таразыға тарту арқылы салмақтық әдіспен анықталды.

Электродта жүретін электрохимиялық реакцияның еру жылдамдығына елеулі әсері бар факторлардың бірі – ток тығыздығы. Тәжірибе барысында мырыштың еруіне, титан электродындағы ток тығыздығының әсері $10-90$ $кА/м^2$ интервалында зерттелінді (сурет 1.6). Эксперимент нәтижесі бойынша титан электродындағы ток тығыздығын 70 $кА/м^2$ арттырғанда мырыштың еруінің ток бойынша шығымының мәні 55% өсіп, ары қарай төмендейді. Мырыштың еру жылдамдығы 10 $кА/м^2$ ток тығыздығында – $80,25$ $г/м^2 \cdot сағ$ тең,

ал 90 кА/м^2 кезінде $237,75 \text{ г/м}^2\cdot\text{сағ.}$ тең, яғни титан электродындағы ток тығыздығының артуымен мырыштың еру жылдамдығы өседі. Катодтық жартылай периодта мырыш иондары орташа жылдамдықпен қайта тотықсызданады, яғни мырыш теріс потенциалға ие металл ($E_{\text{Zn/Zn}^{2+}}^0 = -0,76\text{В}$) болып табылады. Сондай-ақ реакция сутегі иондарының жоғары рязрядталуымен қатар жүреді. Жоғарыда айтылғандай, ток тығыздығы 70 кА/м^2 бастап ток бойынша шығымы төмендейді. Себебі, электролиз кезінде титан электродының бетінде анодтық жартылай периодта түзілетін металдың әртүрлі құрамдас оксидтік қабықшалары вентильдік (жартылай өткізгіштік) қасиет көрсетеді, бұл тізбектен токтың өтуін қиындатады, ал титан электроды айнымалы токтың катодтық жартылай периодында болғанда тізбектен ток өтеді. Катодтық жартылай периодта, титан электродында нейтралды ортада су молекуласының тотықсыздануы жүреді.



Осы мезетте, мырыш электроды анодтық жартылай периодта болып ериді және металл иондарының түзілуімен тотығып, ары қарай металл оксидіне өтеді.



Реакция 1.4 бойынша мырыш гидроксидінің мырыш оксидіне дегидратациялануы ерітінді температурасы $60-70^\circ\text{C}$ жоғары болғанда жүреді.

1.7-суретте айнымалы токпен поляризацияланған мырыштың еруіне, мырыш электродындағы ток тығыздығының әсері көрсетілген. Суреттен көрініп тұрғандай, ток тығыздығы $200-800 \text{ А/м}^2$ интервалында мырыштың еруінің ток бойынша шығымы және еру жылдамдығы төмендейді. Ток тығыздығы 200 А/м^2 болғанда ток бойынша шығымы 74% , ал еру жылдамдығы $255,625 \text{ г/м}^2\cdot\text{сағ}$ құрайды. Ал ток тығыздығын 600 А/м^2 жоғарлатқанда $5,3\%$ және еру жылдамдығы $35,375 \text{ г/м}^2\cdot\text{сағ}$ дейін төмендейді. Ток тығыздығын одан әрі 800 А/м^2 жоғарлатқанда мырыш электроды мүлдем еруін тоқтатады. Себебі, электрод бетінде мырыш гидроксидінің түзілуінен электрод беті толығымен экрандалып, пассивациялануға әкеледі.

Эксперимент нәтижелері көрсеткендей, натрий сульфатының концентрациясын жоғарылатқанда мырыштың еруінің ток бойынша шығымы және еру жылдамдығы айтарлықтай жоғарылайды (1.8-сурет). Ерітінді концентрациясы $0,25 \text{ М}$ болғанда мырыштың ток бойынша еру шығымы 62% , ал еру жылдамдығы $231,5 \text{ г/м}^2\cdot\text{сағ}$ құрайды, ал ерітінді концентрациясын $2,0 \text{ М}$ дейін жоғарлатқанда 90% және $332,75 \text{ г/м}^2\cdot\text{сағ}$ құрайды. Мырыштың еруінің ток бойынша шығымының артуы оттегінің доноры болып табылатын сульфат-иондарының концентрациясының жоғарылауымен байланысты деп жорамалдаймыз.

Мырыш электродының электрохимиялық еруіне электролиз ұзақтығының әсері де қарастырылды (сурет 1.9). Электролиз ұзақтығын $0,25$ сағаттан $2,0$ сағатқа арттырғанда мырыш иондарының ток бойынша шығымы төмейді. $0,25$ сағатта ток бойынша шығым $-94,89\%$, ал $1,5$ сағатта 90% құрайды. Мұны, уақыт артқан сайын электродтардың беті электролиз өнімдерімен, яғни нашар еритін мырыш қосылыстарымен пассивтелуімен түсіндіруге болады.

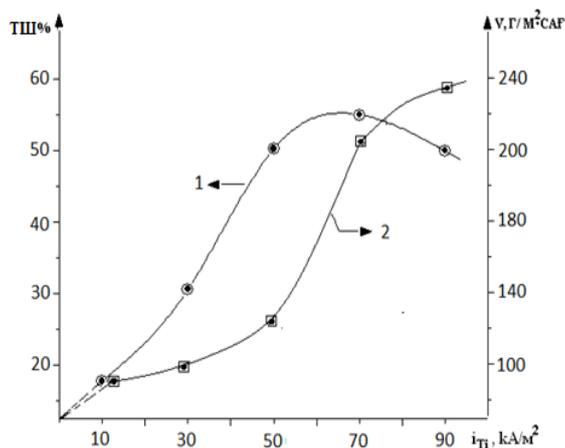
Ток бойынша шығымға электролит температурасының әсерін зерттеуге берілген температураны тұрақты мәнде ұстап тұратын, термостат электролизер қолданылды. 1.10-суретте көрсетілгендей $20-80^\circ\text{C}$ температура аралығында ток бойынша шығым мен

металдың еру жылдамдығы төмендейді. Ток бойынша шығым 20°C - 90%, 80°C - 70%, ал еру жылдамдығы сәйкесінше $332,75 \text{ г/м}^2\cdot\text{сағ}$ және $258,875 \text{ г/м}^2\cdot\text{сағ}$ құрайды. Ерітінді температурасының артуымен мырыштың еруінің ток бойынша шығымының төмендеуін сутегі газының бөліну аса кернеулігінің төмендеуімен түсіндіруге болады.

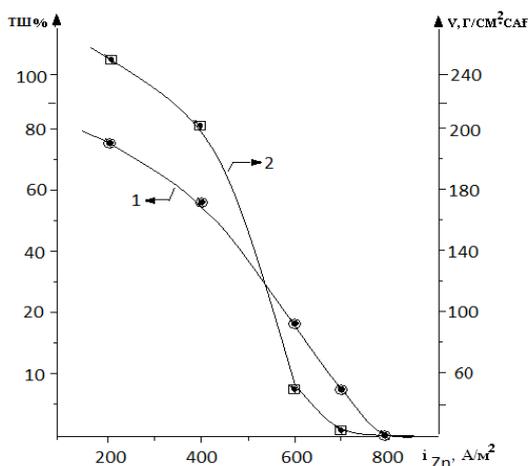
Қорытындылай келе, зерттеу жұмысында, натрий сульфаты ерітіндісінде мырыш электродының электрохимиялық еруі стационарлы емес поляризация жағдайында алғаш рет зерттеліп, электролиз жағдайына байланысты мырыш (II) гидроксиді мен оксидін түзе ерітіндігі анықталды. Жүргізілген тәжірибелер негізінде, мырыш электродының еруінің тиімді жағдайлары қалыптастырылды: $i_{\text{Ti}} = 70 \text{ кА/м}^2$; $i_{\text{Zn}} = 200 \text{ А/м}^2$, $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 0,5 \text{ М}$, $\tau = 0,25 \text{ сағ}$, $t = 20^\circ\text{C}$)

Электролизден кейін алынған мырыштың тұзына рентгенофазалық анализ жасалынды. Рентгенограмма нәтижелерінің рефлекстері (1.47, 1.73, 2.45, 2.8 және т.б) мырыш оксидінің қосылыс түрінде түзілгенін көрсетті (сурет 1.11).

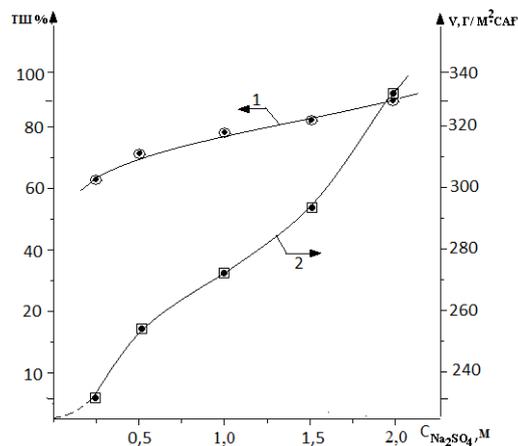
Сондай-ақ мырыш оксидінің электромикроскоп арқылы алынған спектрлерінің мәндері 2 - кестеде берілген.



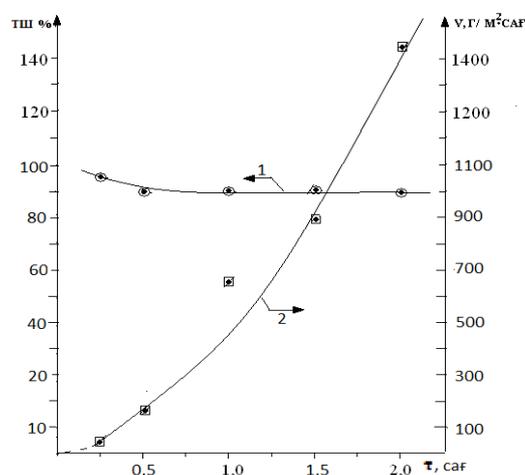
Сурет 1.6 – Айнымалы токпен поляризацияланған мырыш электродының еруінің ток бойынша шығымы (1) мен еру жылдамдығына (2) титан электродындағы ток тығыздығының әсері: $i_{\text{Zn}} = 500 \text{ А/м}^2$; $[\text{Na}_2\text{SO}_4] = 0.5 \text{ М}$; $\tau = 0,5 \text{ сағ.}$, $\text{pH} = 7$.



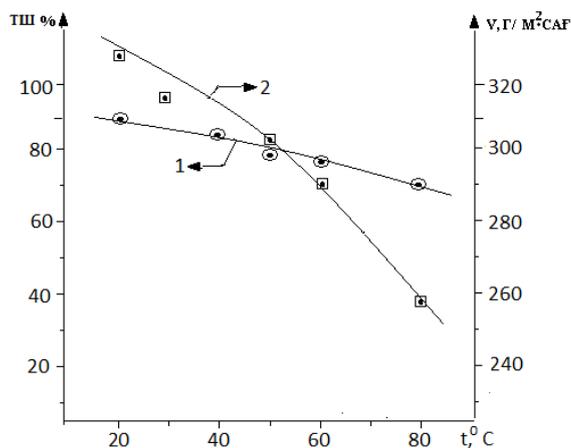
Сурет 1.7 – Айнымалы токпен поляризацияланған мырыш электродының еруінің ток бойынша шығымына (1) мен еру жылдамдығына (2) мырыш электродындағы ток тығыздығының әсері: $i_{\text{Ti}} = 70 \text{ кА/м}^2$; $[\text{Na}_2\text{SO}_4] = 0,5 \text{ М}$; $\tau = 0,5 \text{ сағ.}$, $\text{pH} = 7$.



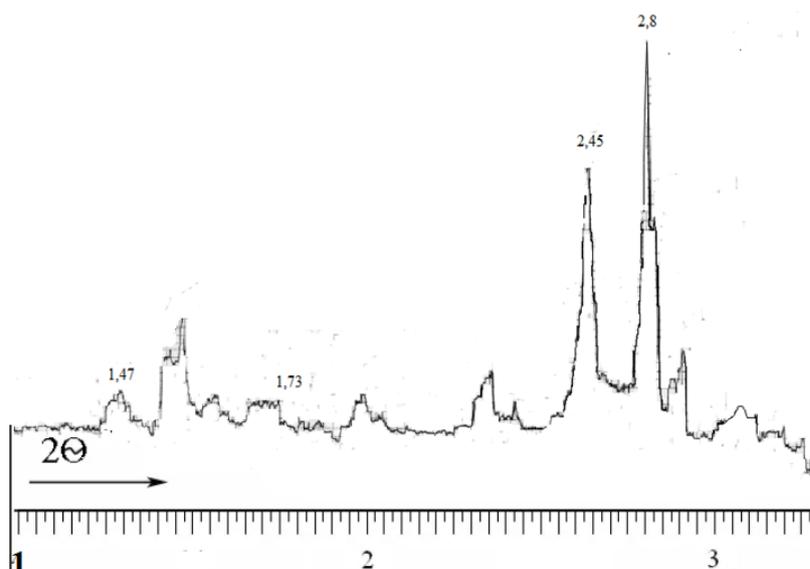
Сурет 1.8 – Айнымалы токпен поляризацияланған мырыш электродының еруінің ток бойынша шығымы (1) мен еру жылдамдығына (2) электролит концентрациясының әсері: $i_{Ti} = 70 \text{ kA}/m^2$, $i_{Zn} = 200 \text{ A}/m^2$, $\tau = 0,5 \text{ сағ.}$, $pH = 7$.



Сурет 1.9 – Айнымалы токпен поляризацияланған мырыш электродының еруінің ток бойынша шығымы (1) мен еру жылдамдығына (2) электролиз ұзақтығының әсері: $i_{Ti} = 70 \text{ kA}/m^2$; $i_{Zn} = 200 \text{ A}/m^2$, $[Na_2SO_4] = 0,5 \text{ M}$, $pH = 7$.



Сурет 1.10 – Айнымалы токпен поляризацияланған мырыш электродының еруінің ток бойынша шығымы (1) мен еру жылдамдығына (2) электролит температурасының әсері: $i_{Ti} = 70 \text{ kA}/m^2$; $i_{Zn} = 200 \text{ A}/m^2$, $[Na_2SO_4] = 0,5 \text{ M}$, $pH = 7$.



Сурет 1.11 – Электрохимиялық жолмен алынған мырыш оксидінің рентгенограммасы

Кесте 2 – Спектральды анализ нәтижелері бойынша алынған мырыш оксидінің электронды құрамы

Элемент	Мөлшері % (салмақтық)		
	O	Zn	Жалпы
Спектр 1	34,87	65,13	100,00
Спектр 2	37,86	62,14	100,00
Спектр 3	36,83	63,17	100,00
Орташа	36,52	63,48	100,00

Қорытынды

Алғаш рет өндірістік жиіліктегі айнымалы токпен поляризацияланған мырыш электродының бейтарап ортада электрохимиялық еру заңдылықтары мен ерекшеліктері анықталды және айнымалы токты қолдану нәтижесінде мырыштың еру үрдісі артатындығы, электролиттің қасиетіне қарай мырыштың сәйкес қосылысы алынатыны анықталды.

Нейтралды орта ерітінділерінде айнымалы токпен поляризацияланған мырыш электродының еруінің тиімді параметрлері $[\text{Na}_2\text{SO}_4] = i_{\text{Ti}} = 70 \text{ A/m}^2$, $i_{\text{Zn}} = 200 \text{ A/m}^2$, $C = 0,5 \text{ M}$, $\tau = 0,5 \text{ сағ}$, $t = 20^\circ\text{C}$., қалыптастырылды және мырыштың еруінің ток бойынша шығымы 94,89%, 44%, 90%, 80% құрады.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Башов Ә.Б., Жұрынов М.Ж., Башова А.Қ. Электрохимия негіздері: Түркістан, 2001. – 148 с.
- 2 Коробочкин В.В. Разрушение никеля и кадмия при электролизе переменным током промышленной частоты: /В.В. Коробочкин //Известия Томского политехнического университета. – Томск, 2003. – № 1. –С. 23 – 24.
- 3 Коновалов Д.В. Влияние технологических параметров на скорость процесса электрохимического синтеза оксида цинка с помощью переменного тока: / Д.В. Коновалов и др. //

Химия – XXI век: новые технологии, новые продукты: материалы междунар. науч.- практ. конф. – Кемерово, 2000. – С. 94 – 96.

4 Баешов А.Б. Тулешова Э. Баешова А.К. Закономерности растворения серебра в растворах сульфата натрия: // Известия НАН РК Сер.хим.-2008. -№1. –С.29-32.

5 Ivanov N.S., Bayeshov A.B., Myrzabekov B.E., Myrzabekov B.E., Bitursyn S.S. Sciences Electroreduction of Te (IV) for glassy-carbon electrode in an alkaline environment International Journal of Chemical. -2014.- Т. 12.- Vol.4. - P. 1253 - 1258

6 Баешов А.Б., Изтлеуов Г.М., Баешова А.К. Электрохимический способ получения гидроксида титана (III): // Новости науки Казахстана. – Алматы, 2005. -№1. – С.51-54.

7 Gaipov T.E., Makhanbetov A.B., Myrzabekov B.E., Tazhibayev A., Bitursyn S.S., Shertayeva N.T., Duisembiyev M. and Abdulina, E.K. Extraction of manganese from manganese ores by electrochemical leaching. Rasayan J.Chem. - 2022. - Vol. 15 No. 3.- 1806-1811 July - September

8 Bitursyn S. S., Baeshov A. B. Issolution of the zinc electrode in hydrochloric acid at polarization alternating current//Bulletin of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan.-2016.-Vol. 4. No.362.-P.23-31

С.С.Битурсын¹, А.Баешов², Н.Т.Шертаева³, М.Т.Сарбаева⁴, К.З.Керимбаева⁵

^{1,3,5}Южно-Казахстанский государственный педагогический университет, Шымкент, Казахстан

²Институт органического катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского, Алматы, Казахстан

⁴Международный казахско-турецкий университет им. Х. А. Ясави, Туркестан, Казахстан

Электрохимическое растворение цинкового электрода, поляризационным переменным током в нейтральной среде (Na₂SO₄)

Аннотация. В данной статье рассматривается электрохимическое растворение цинка в растворе сульфата натрия методом потенциометрических поляризационных кривых. Было установлено, что при анодном растворении цинка в растворе в виде двухвалентных ионов и в дальнейшем при взаимодействии с водой образуется гидролиз гидроксида цинка, отложение которого образует на поверхности электрода пассивный слой. Кроме того, были изучены закономерности растворения цинкового электрода в растворе сульфата натрия в присутствии промышленного переменного тока частотой 50 Гц. Выявлены особенности электрохимического растворения цинкового электрода в растворе сульфата натрия с образованием гидроксида цинка и рассмотрено влияние на них различных факторов. При поляризации цинкового электрода переменным током выход по току его растворения уменьшается выход по току и скорость растворения цинка в интервале 200-800 А/м². При плотности тока 200 А/м² выход по току составляет 74 %, а скорость растворения 255,625 г/м²·ч. А при увеличении плотности тока до 600 А/м² снижается до 5,3% и скорость растворения снижается до 35,375 г/м²·ч. При дальнейшем увеличении плотности тока до 800 А/м² цинковый электрод полностью перестает плавиться. При концентрации раствора 0,25 М выход растворения цинка по току составляет 62 %, а скорость растворения 231,5 г/м²·ч, а при увеличении концентрации раствора до 2,0 М - 90 % и 332,75 г/м²·ч. При увеличении продолжительности электролиза с 0,25 ч до 2,0 ч выход ионов цинка снижается по току. Выход по току в 0,25 часа составляет 94,89%, а в 1,5 часа - 90%. Если ориентироваться на влияние температуры, то в интервале температур 20-800С снижается выход по току и скорость растворения металла. Текущий выход составляет 90% при 200°С, 70% при 800°С, скорость растворения 332,75 г/м²·ч и 258,875 г/м²·ч соответственно.

Ключевые слова: поляризация, цинк, электрод, электрохимия, нейтральная среда, анод, катод, растворение.

S.S.Bitursyn¹, A.Baeshov², N.T.Skertayeva³, M.T.Sarbayeva⁴, K.Z.Kerimbaeva⁵

^{1,3,5}South Kazakhstan State Pedagogical University, Shymkent, Kazakhstan

²D. V. Sokolsky Institute of Organic Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan

⁴Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan

Electrochemical dissolution of a zinc electrode polarized by alternating current in a neutral medium (Na_2SO_4)

Abstract. This article discusses the electrochemical dissolution of zinc in a solution of sodium sulfate by the method of potentiometric polarization curves. It was found that during anodic dissolution of zinc in solution in the form of divalent ions and further upon interaction with water, hydrolysis of zinc hydroxide is formed, the deposition of which forms a passive layer on the surface of the electrode. In addition, the regularities of dissolution of the zinc electrode in a solution of sodium sulfate in the presence of an industrial alternating current with a frequency of 50 Hz were studied. The features of electrochemical dissolution of a zinc electrode in a solution of sodium sulfate with the formation of zinc hydroxide are revealed and the influence of various factors on them is considered. When the zinc electrode is polarized by alternating current, the current output of its dissolution decreases the current output and the rate of dissolution of zinc in the range of 200-800 A/m². At a current density of 200 A/m², the current output is 74%, and the dissolution rate is 255.625 g/m²p.h. And when the current density increases to 600 A/m², it decreases to 5.3% and the dissolution rate decreases to 35.375 g/m² p.h. With a further increase in the current density up to 800 A/m², the zinc electrode completely ceases to melt. At a solution concentration of 0.25 M, the current dissolution yield of zinc is 62%, and the dissolution rate is 231.5 g / m² p.h, and with an increase in the concentration of the solution to 2.0 M - 90%. and 332.75 g/m² p.h. With an increase in the duration of electrolysis from 0.25 h to 2.0 h, the output of zinc ions decreases in current. The current output in 0.25 hours is 94.89%, and in 1.5 hours - 90%. If we focus on the influence of temperature, then in the temperature range of 20-800C, the current output and the rate of metal dissolution decrease. The current yield is 90% at 200 °C, 70% at 800 °C, the dissolution rate is 332.75 g/m² p.h and 258.875 g/m² p.h, respectively.

Keywords: zinc, electrode, polarization, electrochemistry, neutral medium, polarization curve, anode, cathode, dissolution.

References

- 1 Baeshov Á.B., Jurynov M.J., Baeshova A.Q. Elektrokhimiya negizderi [fundamentals of electrochemistry] (Türkistan, 2001, 148).
- 2 Korobochkin V.V. Razrushenie nikelya i kadmiya pri e`lektrolize peremennym tokom promy`shlennoj chastoty` [Destruction of nickel and cadmium during electrolysis by alternating current of industrial frequency], Izvestiya Tomskogo politexnicheskogo universiteta, 1, 23 – 24(2003).
- 3 Konovalov D.V. Vliyanie texnologicheskix parametrov na skorost` processa e`lektroximicheskogo sinteza oksida cinka s pomoshh`yu peremennogo toka [Influence of technological parameters on the speed of the electrochemical synthesis of zinc oxide using alternating current], Ximiya – XXI vek: novy`e texnologii, novy`e produkty`: materialy` mezhdunar. nauch.- prakt. konf., Kemerovo, 94 – 96(2000).
- 4 Baeshov A.B., Tuleshova E., Baeshova A.K. Zakonomernosti rastvoreniya serebra v rastvorax sul`fata natriya [Regularities of silver dissolution in sodium sulfate solutions], Izvestiya NAN RK Ser.xim., 1, 29-32(2008).
- 5 Ivanov N.S., Bayeshov A.B., Myrzabekov B.E. Myrzabekov B.E., Bitursyn S.S. Sciences Electroreduction of Te (IV) for glassy-carbon electrode in an alkaline environment International Journal of Chemical, 12(4), 1253 - 1258
- 6 Baeshov A.B., Iztleuov G.M., Baeshova A.K. E`lektroximicheskij sposob polucheniya gidroksida titana (III) [Electrochemical method for producing titanium hydroxide (III)], Novosti nauki Kazaxstana [News of Kazakhstan Science], Almaty, 1, 51-54(2005).
- 7 Gaipov T.E., Makhanbetov A.B., Myrzabekov B.E., Tazhibayev A., Bitursyn S.S., Shertayeva N.T., Duisembiyev M., Abdulina E.K. Extraction of manganese from manganese ores by electrochemical leaching. Rasayan J, 15(3), 1806-1811(2022).
- 8 Bitursyn S.S., Baeshov A.B. Issolution of the zinc electrode in hydrochloric acid at polarization alternating current, Bulletin of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan, 4(362),23-31(2016)

Сведения об авторах:

Битурсын С.С. – доктор PhD кафедры «Химия» Южно-Казахстанский государственный педагогический университет, ул. Байтурсынова 13, Шымкент, Казахстан.

Баешов А. Б. – доктор химических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук РК, академик, институт органического катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского, ул. Кунаева, 142, Алматы, Казахстан

Шертаева Н.Т. – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия» Южно-Казахстанский государственный педагогический университет, г.Шымкент, ул. Байтурсынова 13, Республика Казахстан.

Сарбаева М.Т. – PhD, старший преподаватель кафедры «Экология и химия», Международный Казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, проспект Бекзата Саттарханова, 29, Туркестан, Казахстан.

Керимбаева К.З. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химия» Южно-Казахстанский государственный педагогический университет, ул. Байтурсынова 13, Шымкент, Казахстан.

Bitursyn S.S. – PhD of the Department of Chemistry, South Kazakhstan State Pedagogical University, Baitursynova str. 13, Shymkent Kazakhstan.

Baeshov A. B. – Doctor of Chemical Sciences, Professor, corresponding member of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, academician, D.V. Sokolsky Institute of Organic Catalysis and Electrochemistry, Kunayev str.,142, Almaty, Kazakhstan.

Shertayeva N.T. – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry, South Kazakhstan State Pedagogical University, Baitursynova str. 13, Shymkent, Kazakhstan.

Sarbayeva M.T. – PhD, Senior Lecturer of the Department “ Ecology and chemistry”, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Bekzat Sattarkhanov. 29, Turkestan, Kazakhstan.

Kerimbayeva K.Z. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry, South Kazakhstan State Pedagogical University, Baitursynova str. 13, Shymkent, Kazakhstan.

¹D.T. Nurpeisova, A.K. Tashenov, ²Zh. Ye. Jakupova,
³S.S. Dosmagambetova, ⁴G.S. Tosmaganbetova, ⁵L.S. Omarova

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

(*E-mail: ³ saule_ds@mail.ru, ² zhanereke@mail.ru,

⁴ tas2909@yandex.kz, ⁵ omarova_63@mail.ru)

Corresponding author: dinara_1808@mail.ru

Synthesis of octochlorosubstituted cobalt(II) and copper (II) complexes with phthalocyanine

Abstract. A modified method for the synthesis of metalloctachlorophthalocyanines and methods for their purification based on their sequential treatment with hydrochloric acid (10%) sodium hydroxide (2M), then again with hydrochloric acid (10%), pyridine (O.S.C.) in 1,2,4-trichlorobenzene as a solvent is presented. As a result, the degree of purification of copper ion complexes was achieved, 99% versus the best result using methods known in the literature 93%, for cobalt the degree of purity was 98% versus 88%. The yield of the products is also higher than in the known methods and amounted to 78, cobalt -43 for copper compounds. Physico-chemical methods have established that after the final stage of purification-pyridine treatment, impurities are removed, including cyanuric acid, the decomposition product of urea, the results of elemental analysis for carbon, hydrogen, nitrogen conducted on the ThermovomTypFlashEA 1112 analyzer complexes of cobalt (II), copper (II) with phthalocyanine, the assignment of bands of IR spectra recorded in KBr tablets on the Nicolet IR-200 FT - IR spectrophotometer, UV- the spectra of sulfuric acid solutions of metalloctachlorophthalocyanines taken on a Varian, UV - Vis/NIR spectrometer.

Keywords: phthalocyanines, metallophthalocyanines, metalloctachlorophthalocyanines, infrared spectrum.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2023-142-1-22-30>

Introduction

Metallophthalocyanines (MPc) are endowed with exceptional thermal, light and chemical resistance for organic compounds, and good coloring properties.

MSs have a structure similar to that of natural macroheterocyclic structures - metalloporphyrins (MP) such as chlorophyll and blood hemoglobin.

The features of the structure and properties of MP and MP, especially Co(II), Cu(II) complexes, serve as the basis for their use as thermal and light stabilizers, solar energy accumulators, protein decay inhibitors, biocatalysts, in laser technology as the main coloring agent.

The high thermal and light resistance, good coloring properties, inertia with respect to acids and alkalis, and almost complete insolubility in water and organic solvents of most MP and MP with ions of the first decade of d-metals are due to their structure, namely, the presence of a chromophore - a heterocyclic macro-ring, consisting in turn of four pyrrole rings closed in a cycle through methine (-CH=) in MP or N-azo bridge (=N-) in MP and the corresponding coordination metals, leading to the formation of chelate complexes. However, insolubility in water and organic solvents does not allow widespread use of the technical and biological properties of the compounds obtained.

The literature describes in detail the methods of synthesis of MP and unsubstituted MPC, less often the synthesis of MPC having substituents in benzene rings (Figure 1).

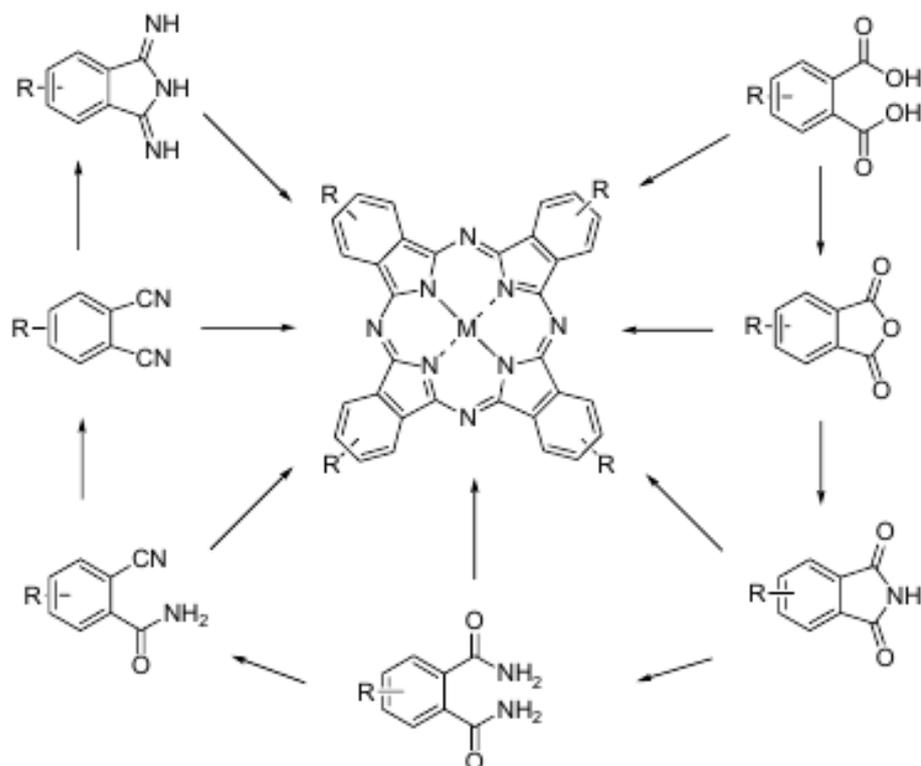
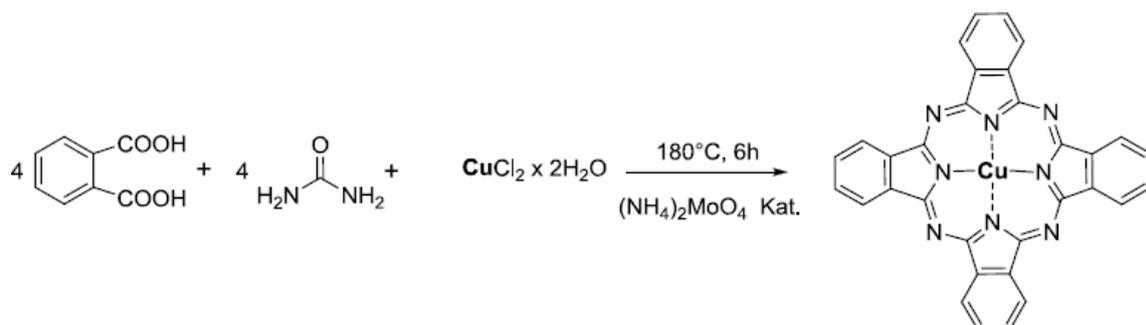


Figure 1. Scheme of synthesis of metallophthalocyanines [1-4].

Experimental work

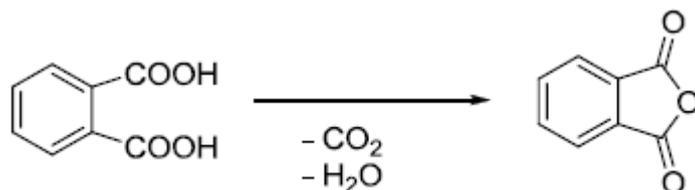
We synthesized and identified by elemental analysis, UV and IR spectroscopy phthalocyanine complexes of cobalt(II), copper(II) obtained by solid-phase synthesis [5], as well as chlorine-substituted phthalocyanine complexes of the same metals in the same oxidation states in the presence of solvent 1,2,4-trichlorobenzene $C_6H_3Cl_3$.

The scheme of the general technique of solid-phase synthesis of phthalocyanine complexes, described by us in [5], can be described by the following equation of the synthesis of CuPc:

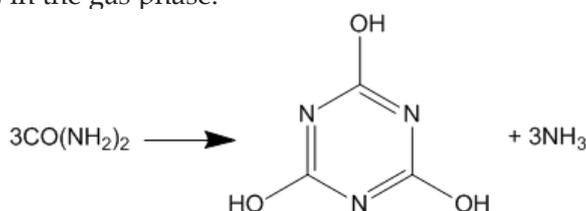


The method of synthesis of chlorosubstituted phthalocyanine complexes of the above metals in the presence of a solvent - 1,2,4-trichlorobenzene - is generally identical to the method of synthesis of MPC.

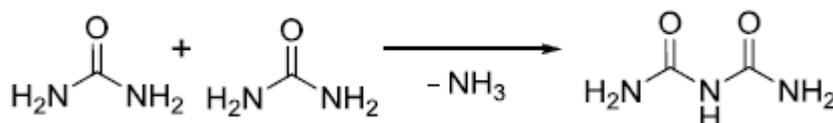
The general methodology for the synthesis of chlorosubstituted phthalocyanines in the presence of 1,2,4-trichlorobenzene is as follows: ≈ 7.05 g of 4,5 dichlorophthalic acid is ground with ≈ 2.39 g (depending on the metal weight may vary) $MCl_2 \cdot nH_2O$, 25 g of urea and 50 mg of ammonium molybdate as a catalyst, the resulting mixture is crushed to a homogeneous mass in a mortar and 100 ml of solvent is added. The mixture is transferred to a round-bottomed flask and heated in an oil bath, depending on the nature of the metal, from 10 to 27 hours. At a temperature of $120^\circ C$, the litmus paper test shows an acidic reaction of the gas phase, which indicates the release of carbon monoxide (IV):



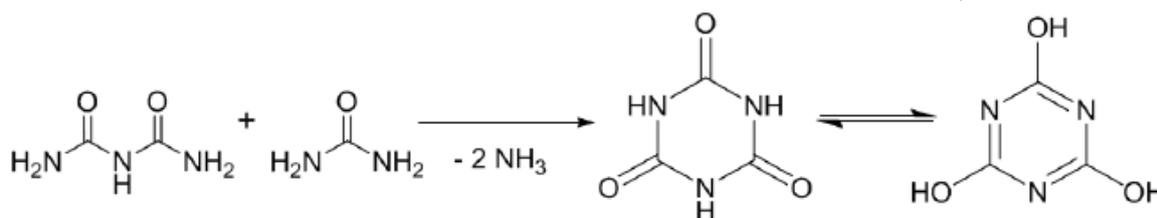
At $135^\circ C$, the evaporation of urea begins with the formation of cyanuric acid (2,4,6-trihydroxy-1,3,5-triazine $C_3H_3N_3O_3$) in the gas phase:



At the same time, at this temperature, the formation of a biuret $C_2H_5N_3O_2$ occurs, accompanied by the release of ammonia:



At $175^\circ C$, the reaction of biuret and urea occurs with the formation of cyanuric acid:



The synthesis was continued until the pH of the reaction medium was approximately equal to 7, at this value of the acidity of the medium, the formation of cyanuric acid as a by-product ends.

The subsequent stages of synthesis involve work in a hydrochloric acid medium. Since cyanuric acid is insoluble in 6N hydrochloric acid, the precipitate separated by filtration and pre-crushed was washed with dichloromethane, extracted with ethanol, then acetone to remove cyanuric acid from the final product. The purity of the final product was confirmed by its IR spectrum, in which there were no bands characteristic of cyanuric acid.

Further, the synthesis was continued in accordance with the methodology given in [5].

Methods of analyzing the results obtained

Elemental analysis for carbon, hydrogen, nitrogen was carried out on a Thermovom Typ Flash EA 1112 analyzer (table 1, table 2).

UV spectra of sulfuric acid solutions of metallophthalocyanines were taken on a Varian, UV-Vis/NIR spectrometer.

IR spectra were recorded in KBr tablets on a Nicolet IR200 FT-IR spectrophotometer (fig.1, fig.2, fig.3).

Table 1. Results of elemental analysis of chloro-substituted phthalocyanine complexes of cobalt(II), copper(II) obtained by solid-phase synthesis

Connection	Elemental composition, %, calculated	Elemental composition, %, according to the results of analyses	Product Output
CoPcCl₈ C ₃₂ H ₈ CoN ₈ Cl ₈ (847.024 g.mol ⁻¹)	C: 45,37 H: 1,00 N: 13,23	C: 45,21 H, 1,06 N, 13,64	3,5280 (0,014 mmol)
CuPcCl₈ C ₃₂ H ₈ CuN ₈ Cl ₈ (851.636 g.mol ⁻¹)	C: 45,13 H: 0,95 N: 13,15	C: 44,73 H: 1,21 N: 13,25	3,1714 (0,018 mmol)

Table 2. Results of elemental analysis of chloro-substituted phthalocyanine complexes of cobalt(II), copper(II) obtained in a solvent medium

Connection	Elemental composition, %, calculated	Elemental composition, %, according to the results of analyses	Product Output
CoPcCl₈ C ₃₂ H ₈ CoN ₈ Cl ₈ (847.024 g.mol ⁻¹)	C: 45,37 H: 1,00 N: 13,23	C: 46,09 H, 1,04 N, 12,85	6,0731 g
CuPcCl₈ C ₃₂ H ₈ CuN ₈ Cl ₈ (851.636 g.mol ⁻¹)	C: 45,13 H: 0,95 N: 13,15	C: 45,98 H: 1,09 N: 12,78	5,7183 g (0,0067 mol)

The following are the band assignments in the IR spectra of substituted phthalocyanine complexes of cobalt(II), copper(II) obtained in a solvent medium:

CoPcCl₈. IR (KBr): ν , cm⁻¹ 1595, 1506, 1410, 1385, 1320, 1275, 1196, 1129, 1085, 964, 875, 775, 745.

CuPcCl₈. IR (KBr): ν , cm⁻¹ 1590, 1495, 1404, 1375, 1327, 1285, 1194, 1120, 1078, 951, 880, 772, 741.

Results and their discussions

The spectra of cobalt(II) and copper(II) complexes are graphically presented.

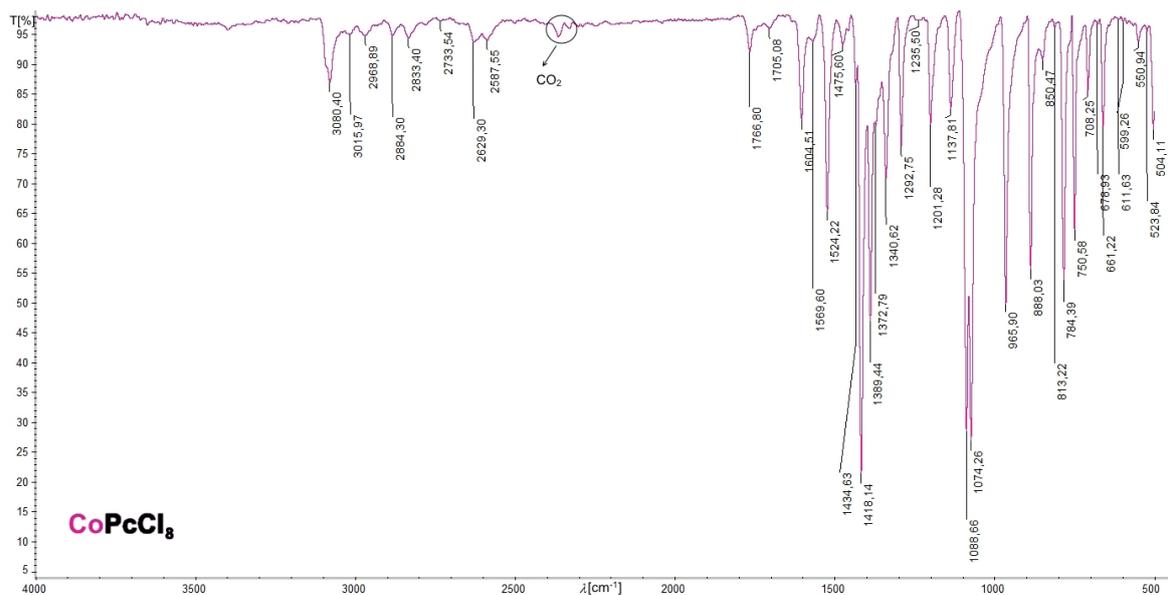


Fig.1. IR spectrum of cobalt(II) complex with chloro-substituted phthalocyanine obtained in 1,2,4-trichlorobenzene medium

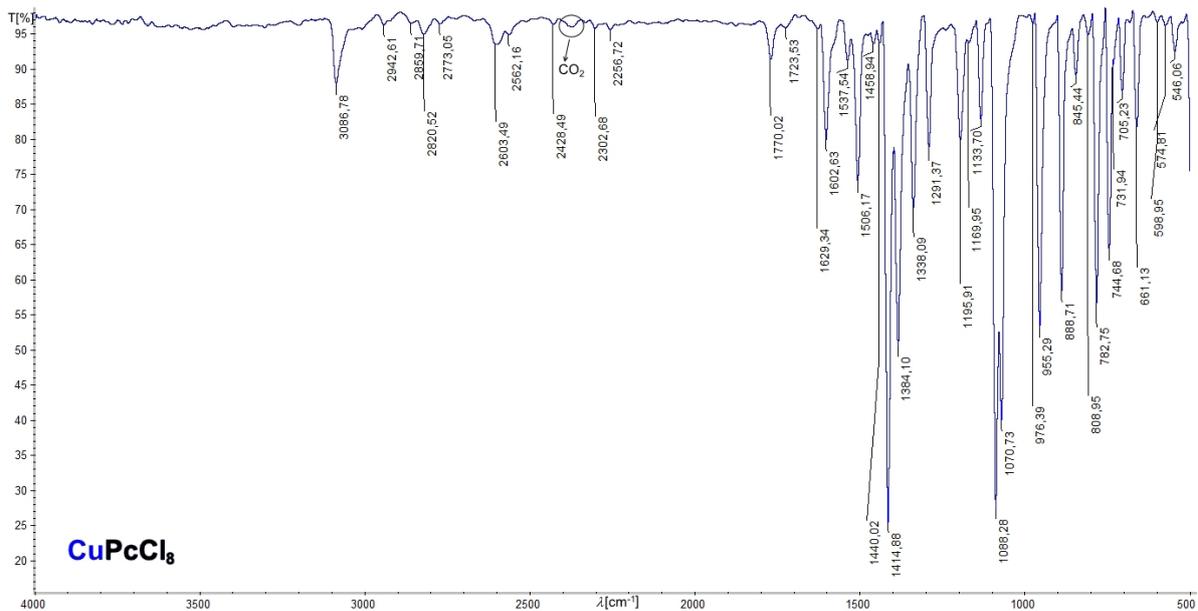


Fig.2. IR spectrum of copper (II) complex with chloro-substituted phthalocyanine obtained in 1,2,4-trichlorobenzene medium

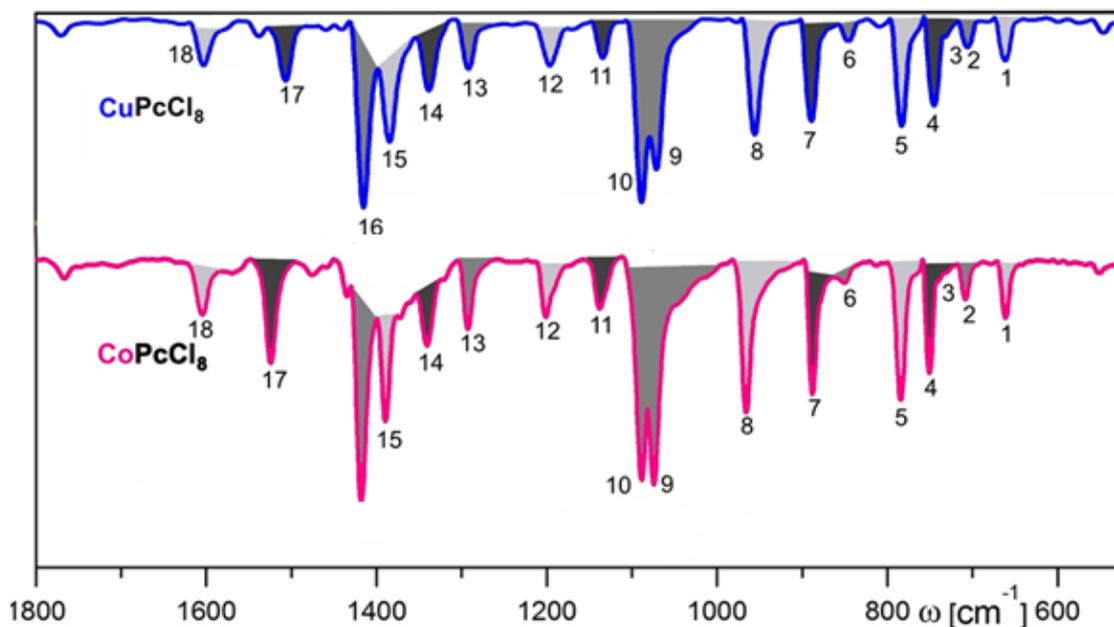


Fig.3. Combined spectrum of CuPcCl_8 and CoPcCl_8 compounds in the range from 500 to 1800 cm^{-1}

A detailed assignment of the bands of valence and deformation vibrations in the IR spectra of unsubstituted phthalocyanine complexes of cobalt(II), copper(II) obtained by solid-phase synthesis was done by us in (fig.3) [5]. The IR spectra of chloro-substituted metallophthalocyanine complexes of the same metals in the same oxidation states obtained in the presence of 1,2,4-trichlorobenzene have minor differences, since the IR spectra of substituted metallophthalocyanines consist of bands belonging to the phthalocyanine part of the molecule and bands of chloride ions. Due to the fact that these bands partially overlap, the interpretation of the spectra was carried out on the basis of a comparative analysis with the spectra of chloro-substituted methylphthalocyanines and their unsubstituted metallophthalocyanines.

In the spectra of synthesized compounds in the region of 1650-1500 cm^{-1} there are bands of valence vibrations of C-C benzene rings, the interpretation of spectra in the region of 1400-750 cm^{-1} is complicated due to the overlap of bands related to both the vibrations of phthalocyanine fragments and fragments of chloride ions.

Table 3. Attributions in the IR spectra of metalloctachlorophthalocyanines complexes of MPcCl_8

Attributions	Connection	
	CuPcCl_8	CoPcCl_8
valence vibrations of C-H bonds (weak intensity)	3080 3086	3080
fluctuations of C-C bonds	1629	1604
β -oscillations of C-H bonds	1506 1500	1522 1524
Fluctuations of groupings -C=C-N=	1384 1415	1389 1418
β - fluctuations C-H-bonds under plane deformation	1071	1088 1074
of C-C-bonds vibrations in the aromatic ring	955 889	966 888

of C-N-bonds vibrations	783	784
	745	751
γ - oscillations of out-of-plane deformation C-H - bonds	744	750
	732	708
	661	661

Based on the results of spectral studies of the compounds presented by us, the substitution of chlorine atoms in benzene rings leads to a bathochromic shift of all absorption bands, the intensity of long-wavelength bands when comparing the MPc spectra with MPcCl8 spectra gradually decreases.

The bathochromic band shift is associated with electronic transitions in the macrocycle. This process can be explained by the expansion of the conjugated phthalocyanine system due to the inclusion of the p-electrons of the chlorine atom in the π -electron system of benzene rings and macro rings. The expansion of the conjugate system and the corresponding effect are noticeable with the manifestation of 8 chlorine atoms, in this case, despite the sufficiently high autonomy of the benzene rings of macrocyclical chromophores, the π -electrons of chlorine atoms lead, in all probability, to a significant increase in the π -electron density of the macrocircle.

The coupling effect of the chlorine atom is associated with its specific and powerful auxochromic effect on isolated chromophores of benzene phthalocyanine. Short-wave bands associated with transitions in benzene rings of protonated phthalocyanine experience a shift under the influence of bathochromic substitution.

Each of the methods of synthesis of chloro-substituted phthalocyanine complexes of cobalt(II), copper(II) - the method of solid-phase synthesis and the method using 1,2,4-trichlorobenzene as a solvent - has certain advantages and disadvantages.

The advantage of the solid-phase synthesis method is that it is less time-consuming (6-8 hours), and the resulting product does not require additional purification.

The synthesis process in the 1,2,4-trichlorobenzene medium is complicated by the need for constant monitoring of the pH of the medium. The synthesis time is significantly increased compared to the solid-phase method - from 10-27 hours to 3 days. To a noticeable extent, cyanuric acid is formed, which requires a significant amount of time to clean the final product. The advantage of the solvent-based method is a slight increase in the yield and degree of purity of the final product.

References

1. Березин Б. Д. Координационные соединения порфиринов и фталоцианинов. Москва: 1978. - 280 с.
2. Wilkinson G., Guillard R. D., McCleverty J. A. Comprehensive coordination chemistry. Pergamon Press. - 1987.- Vol.2.-P.813–898.
3. Сульман Э. М., Романовский Б. В. Каталитические свойства фталоцианинов металлов в реакциях с участием водорода//Усп. химии. - 1996.- Т.65. - №7.- С.659–666.
4. Huang Zh. Photodynamic therapy. A review of progress in clinical photodynamic therapy//Technol. Cancer Res. Treat. - 2005. - Vol.4.- No 3.- P.283–293.
5. Нурпейсова Д.Т., Ташенов А.К., Досмагамбетова С.С. ИК-спектры комплексов элементов триады железа и меди с фталоцианином//Вестник ЕНУ им.Л.Н.Гумилева.- 2014. - №6. - С.374-377
6. Nalwa H.S., Miyata S. Nonlinear optics of organic molecules and polymers.- CRC Press, BocaRaton,1997. -886 p.
7. Wang T., He Zh., Zheng X. et al. Electrical properties of copper(II) phthalocyanine derivative thin films//Optoelectronics Lett.- 2007.- Vol.3. No 1. - P.43–46.

**Д.Т. Нурпейсова, А.К. Ташенов, Ж.Е. Джакупова, С.С. Досмагамбетова,
К.С. Тосмаганбетова, Л.С. Омарова**

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

Кобальт (II) және мыс (II) фтаоцианинмен октохлоралмастырылған кешендерінің синтезі

Аңдатпа. Кобальт(II) және мыс(II)-нің октохлорорынбасқанфталоцианиндермен түзетін комплекстерінің синтезінің модифицирленген әдістері келтірілген және оларды тұз қышқылымен (10%), натрий гидроксидімен (2м), содан кейін қайтадан тұз қышқылымен (10%) тазартқаннан кейін, еріткіш ретінде 1,2,4-трихлорбензолдағы пиридинмен өңдеуге негізделген тазарту әдістері келтірілген. Нәтижесінде Cu(II) тазарту дәрежесіне 99%қол жеткізілді әдебиетте белгілі әдістерді қолданған кезде ең жақсы нәтижеге қарсы 93%, Co(II) үшін тазалық дәрежесі 88%-ға қарсы 98% құрады. Өнімнің шығымдылығы сипатталған белгілі әдістерге қарағанда жоғары және Co(II) 78, Cu(II) 43 құрады. Пиридинмен өңдеудің соңғы кезеңінен кейін біз физика-химиялық әдістермен анықтадық, өнімнің құрамынан қоспалар, соның ішінде цианур қышқылы, мочевианың ыдырау жойылады, және thermovomturflashea 1112 анализаторында жүргізілген көміртекке, сутекке, азотқа элементтік талдау нәтижелері жойылатыны анықталды. Nicolet IR-200, УК- спектрофотометріндегі KBr таблеткаларында жазылған, күкірт қышқылындағы - октахлорметаллфталоцианин ерітінділерінің ультракүлгін спектрлері Varian UV-VIS / Nir спектрометрінде түсірілген.

Түйін сөздер: фталоцианиндер, металлофталоцианиндер, инфрақызыл спектрлер.

**Д.Т. Нурпейсова, А.К. Ташенов, Ж.Е. Джакупова, С.С. Досмагамбетова,
К.С. Тосмаганбетова, Л.С. Омарова**

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

Синтез октохлорзамещенных комплексов кобальта(II) и меди (II) с фталоцианином

Аннотация. Приведены модифицированная методика синтеза октахлорометаллофталоцианинов и способы их очистки, основанные на их последовательной обработке соляной кислотой (10%), гидроксидом натрия (2М), затем снова соляной кислотой (10%), пиридином в 1,2,4-трихлорбензоле в качестве растворителя. В результате была достигнута степень очистки комплексов ионов Cu(II) 99% против наилучшего результата при использовании известных в литературе способов 93%, для Co(II) степень чистоты составила 98% против 88%. Выход продуктов также выше, чем при описанных известных способах, и составил Co(II) 78, Cu(II) 43. Физико-химическими методами установлено, что после заключительной стадии очистки - обработки пиридином удаляются примеси, в том числе циануровая кислота, продукт разложения мочевины, результаты элементного анализа на углерод, водород, азот, проведенного на анализаторе ThermovomTurFlashEA 1112 комплексы кобальта (II), меди (II) с фталоцианин, назначение полос ИК-спектров, записанных в таблетках KBr на спектрофотометре Nicolet IR-200 FT - IR, УФ-спектры растворов металлооктахлорфталоцианинов в серной кислоте, снятые на спектрометре Varian UV - Vis/NIR.

Ключевые слова: фталоцианины, металлофталоцианины, инфракрасный спектр.

References

1. Berezin B.D. Koordinacionnye soedineniya porfirinov i ftalocianinov [Coordination compounds of porphyrines and phthalocyanines], (Moscow, 1978, 280 p.)
2. Wilkinson G., Guilard R. D., McCleverty J. A. Comprehensive coordination chemistry. Pergamon Press, 2, 813–898(1987).

3. Sulman E.M., Romanovsky B.V. Kataliticheskie svoystva ftalocianinov metallov reakciyah s uchastiem vodoroda, Usp. himii [Catalytic properties of phthalocyanines metals reactions with hydrogen participation, Usp. Chemistry], 6(7), 659-666(1996).

4. Huang Zh. Photodynamic therapy. A review of progress in clinical photodynamic therapy, Technol. Cancer Res. Treat, 4(3), 283-293(2005)

5. Nurpeisova D.T., Tashenov A.K., Dosmagambetova S.S. IR-spektry kompleksov elementov triady zheleza i medi s ftalocianinom, Vestnik ENU im.L.N.Gumileva [IR spectra of complexes of iron and copper triad elements with phthalocyanine, Bulletin of the L.N.Gumilyov ENU], 6,374-377(2014)

6. Nalwa H.S., Miyata S. Nonlinear optics of organic molecules and polymers. CRC Press, BocaRaton, 886(1997)

7. Wang T., He Zh., Zheng X. et al. Electrical properties of copper(II) phthalocyanine derivative thin films, Optoelectronics Lett., 3(1), 43-46(2007)

Сведения об авторах:

Nurpeisova D.T. – Doctor PhD, Senior Lecturer of the Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Kazhymukan str., Astana, Kazakhstan

Tashenov A. – Doctor of Chemistry, Professor, Honored Head of the Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Kazhymukan str., Astana, Kazakhstan

Dosmagambetova S.S. – Doctor of Chemistry, Professor of the Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Kazhymukan str., Astana, Kazakhstan

Dzhakupova Zh.E. – Ph.D., Associate Professor of the Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Kazhymukan str., Astana, Kazakhstan

Tosmagambetova K.S. – Ph.D., acting Associate Professor of the Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Kazhymukan str., Astana, Kazakhstan

Omarova L.S. – Senior Lecturer of the Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Kazhymukan str., Astana, Kazakhstan

Нурпейсова Д.Т. – PhD докторы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің, Жаратылыстану ғылымдар факультетінің химия кафедрасының аға оқытушысы, Қажымұқан көшесі, 13, Астана, Қазақстан

Ташенов А.К. – х.ғ.д., профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің, Жаратылыстану ғылымдар факультетінің Химия кафедрасының Құрметті меңгерушісі, Астана, Қазақстан

Досмағамбетова С.С. – х.ғ.д., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің, Жаратылыстану ғылымдар факультетінің Химия кафедрасының профессоры. Қажымұқан көшесі, 13, Астана, Қазақстан

Джакупова Ж.Е. – х.ғ.к., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің, Жаратылыстану ғылымдар факультетінің Химия кафедрасының доценты. Қажымұқан көшесі, 13, Астана, Қазақстан

Тосмағанбетова К.С. – х.ғ.к., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің, Жаратылыстану ғылымдар факультетінің Химия кафедрасының доцентінің м. а., Қажымұқан көшесі, 13, Астана, Қазақстан

Омарова Л.С. – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің, Жаратылыстану ғылымдары факультетінің Химия кафедрасының аға оқытушысы, Қажымұқан көшесі, 13, Астана, Қазақстан

Б.Ш. Ганиев¹, У.М. Мардонов³, Ж.М. Ашуров²

^{1,3}Бухарский государственный университет, Бухара, Узбекистан

²Институт биоорганической химии им. О.С. Содикова,
Академии Наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан
(E-mail: ³uktatmardonov2020@gmail.com, ²atom.uz@mail.ru)

Автор для корреспонденции: ¹b.ganiyev1990@gmail.com

Изучение dft анализа различных форм глуталина

Аннотация. В данной работе приведены результаты DFT анализа и электронно-структурных и координационных свойств, граничные молекулярные орбитали и дескрипторы глобальной реактивности различных форм глуталина, с применением квантово-химического расчета. Для глуталина МЭП был рассчитан с помощью программы DFT/B3LYP базис 6-311G⁺⁺(d,p) и построена поверхность молекулярного электростатического потенциала. С помощью квантово-химического расчета определены энергии для различных форм глуталина (катионная, нейтральная и анионная) ВЗМО (-0,2295; 0,1487 и -0,2089 eV), НСМО (-0,3654; -0,4045 и -0,0863 eV), электроотрицательность (0,29745; 0,1279 и 0,1476).

Ключевые слова: теория функционала плотности, цвиттер-ион, молекула, заряд, структура, квантово-химический расчеты, молекулярный электростатический потенциал.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2023-142-1-31> -36

Введение

Аминокислоты имеют важное значение среди химических веществ, поскольку они являются «кирпичиками» живых систем. Кроме того, они находят применение во многих областях (и в промышленности), в том числе в пищевых продуктах, кормовых добавках и фармацевтическом производстве. В биологических жидкостях, где ионы металлов присутствуют в следовых количествах, некоторые лиганды проявляют заметную тенденцию конкурировать за ионы металлов. Очевидно, важны исследования образования смешанных лигандов в физиологических условиях. Известно, что ионы металлов важны для многих биохимических реакций. Например, ферменты работают только в присутствии таких ионов металлов. Были исследованы комплексы ионов металлов многих аминокислот [1–3].

Глутамин является одной из двух α – аминокислот, содержащих в боковой цепи амидогруппы и участвует в наибольших биохимических процессах среди всех других жизненно важных аналогов. Хотя, к изучению биохимических аспектов этого вещества посвящены множества научных работ, но часто остается неясным вопрос различного поведения данного бифункционального вещества в химических взаимодействиях с одинаковым набором (N,C,O) атомов функциональных групп.

Ученые Ивановского государственного химико-технологического университета исследовали теплоты взаимодействия растворов $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ с растворами L-глуталина измеряли непосредственно калориметрическим методом при температуре 298,15 К и значениях ионной силы 0,5, 1,0 и 1,5 (KNO_3). С помощью универсального программного обеспечения РРСУ экспериментальные данные подвергались строгой математической

обработке с учетом нескольких параллельных процессов в системе. Теплоты образования комплексов CuL^+ и CuL_2 рассчитывали из калориметрических измерений. Стандартные теплоты комплексообразования Cu^{2+} с L-глутамином получены путем экстраполяции к нулевой ионной силе. Получена полная термодинамическая характеристика ($\Delta_r H^\circ$, $\Delta_r G^\circ$, $\Delta_r S^\circ$) процессов комплексообразования в системе Cu^{2+} —L-глутамин [4]. В [5] исследовании ученые описали новый метод синтеза теанина с использованием L-глутамин-Zn(II) комплекс ($\text{Zn}(\text{Gln})_2$) вместо глутамина в качестве донора, который успешно уменьшил боковую аутогидролизацию реакция и привела к более высокому выходу теанина. Синтезировали комплексов $\text{Zn}(\text{Gln})_2$ и показал, что они стабильны в жидкой массе при pH 9,0. Также было указано [6] работе комплексообразования глутамина с ионами Cr(III), полученных комплексов изучено с помощью ЭПР- и УФ-спектроскопии.

Хотя, к изучению биохимических аспектов глутамина посвящены множества научных работ, но часто остается неясным вопрос различного поведения данного бифункционального вещества в химических взаимодействиях с одинаковым набором (C,H,N,O) атомов двух функциональных групп. Например, в биохимических процессах, именно благодаря атома азота амидной группы (АГ), глутамин выполняет роли основного «поставщика» гетероатомов азота в положениях N3 и N9 с участием глицинового и аспартатного остатков при формировании гетероциклов пуринового основания, необходимого в образовании нуклеиновых кислот [7-9,13,14].

Методы эксперимента

Квантово-химические расчеты выполнены с применением программы Gaussian 09 методом теории функционала плотности (DFT) с гибридным функционалом B3LYP [5-7]. По совокупности проведенных работ, произведены расчеты зарядов на атомах по Малликену, электронной плотности, данные результаты ранее нами было опубликована [10]. В данной статье рассмотрены результаты DFT анализа глутамина и различных его форм, также при расчете DFT определены граничные энергии молекулярных орбиталей (E_{LUMO} , E_{HOMO}).

Обсуждение результатов

В донорно-акцепторных взаимодействиях (ДАВ) активной является донорные атомы N,O α -аминокарбоксовой группы (α -АКГ), не желе амидной группы, образуя ионами M^{n+} акцептора комплексы, проявляя различные дентатности в качестве лиганда. К выяснению причины совокупность проявляемых выше указанных свойств, глутамином посвящено второе часть сообщения, предусматривающее изучение электронных, конформационных особенностей и химических свойств функциональных групп, граничные молекулярные орбитали и дескрипторы глобальной реактивности методами кванто-химического расчета (КХР).

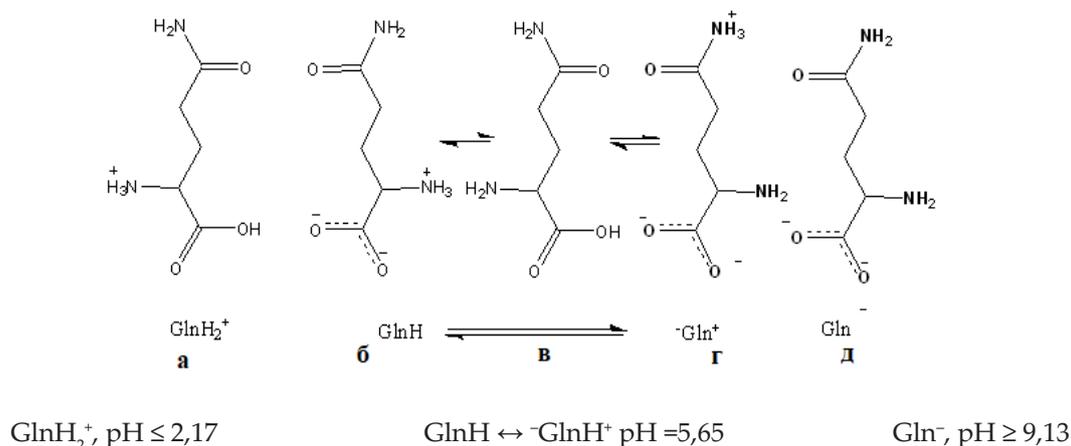


Рисунок 1. а – протонированная (катионная); б, г – цвиттер-ионная (бетаиновая); в – нейтральная; д – депротонированная (анионная) формы глутамина

Известно, что глутамин в зависимости от рН-среды может находиться в протонированной, нейтральной, цвиттер-ионной и депротонированной формах (рис 1 а-д).

При кванто-химических расчетах определены различия энергий между высоко занятой (НОМО) и низко незанятой (свободной или вакантной) молекулярных орбиталей (LUMO). Результаты приведены в таблице 1.

Граница молекулярной орбитали определяет путь, в котором молекула взаимодействует с другими молекулами расчета. Разницы НОМО-LUMO использовались для интерпретации результатов переноса заряда внутри молекулы [11].

В КХР для оценки общей химической реакционной способности молекул используется концептуальная теория функциональной плотности, учитывающая электроотрицательность (χ), химический потенциал (μ), общая твердость (η), общая мягкость (S), σ -абсолютная мягкость и индекс электрофильности (ω) молекулы вещества (рис.2-3) [10,16,17]. По-другому эти параметры определяют глобальных дескрипторов реактивности молекул и достаточно успешно предсказывает принципиальные тенденции реактивности на основе теоремы Купманса [15]. Эти особенности реактивности вычисляются с использованием энергии граничных молекулярных орбиталей $E_{\text{НОМО}}$, E_{LUMO} , таких как $\chi = -1/2(E_{\text{LUMO}} + E_{\text{НОМО}})$, $\mu = -\chi = 1/2(E_{\text{LUMO}} + E_{\text{НОМО}})$, $\eta = 1/2(E_{\text{LUMO}} - E_{\text{НОМО}})$, $\sigma = 1/\eta$, $S = 1/2\eta$ и $\omega = \mu^2/2\eta$. Значения граничных энергий молекулярных орбиталей (E_{LUMO} , $E_{\text{НОМО}}$) дескрипторов реактивности для глутамина приведены в таблице 1.

Таблица 1
Значения рассчитанных квантово-химических параметров
молекулы глутамина и разных форм

Глутамин	$E_{\text{НОМО}}$ эВ	E_{LUMO} эВ	ΔE	χ	η	σ	Pi	S	ω	ΔN_{max}
GlnH_2^+	-0,3654	-0,2295	0.1359	0.29745	0.06795	14.716	-0.29745	7.3583	0.6510	4.3774
GlnH	-0.4045	0.1487	0.5532	0.1279	0.2766	3.6153	-0.1279	1.8076	0.0296	0.4624
Gln ⁻	-0,0863	-0,2089	-0.1226	0.1476	-0.0613	-16.313	-0.1476	-8.1566	-0.1777	-2.4078

В последнее время энергетический разрыв между НОМО и LUMO был использован для доказательства биологической активности от внутримолекулярного переноса заряда (ICT). потому, что это мера электронной проводимости. Граничные орбитали (НОМО, LUMO) глутамина, определены применением B3LYP/6-311G⁺⁺(d,p) и графически показаны на рис. 2 а-в, 4.

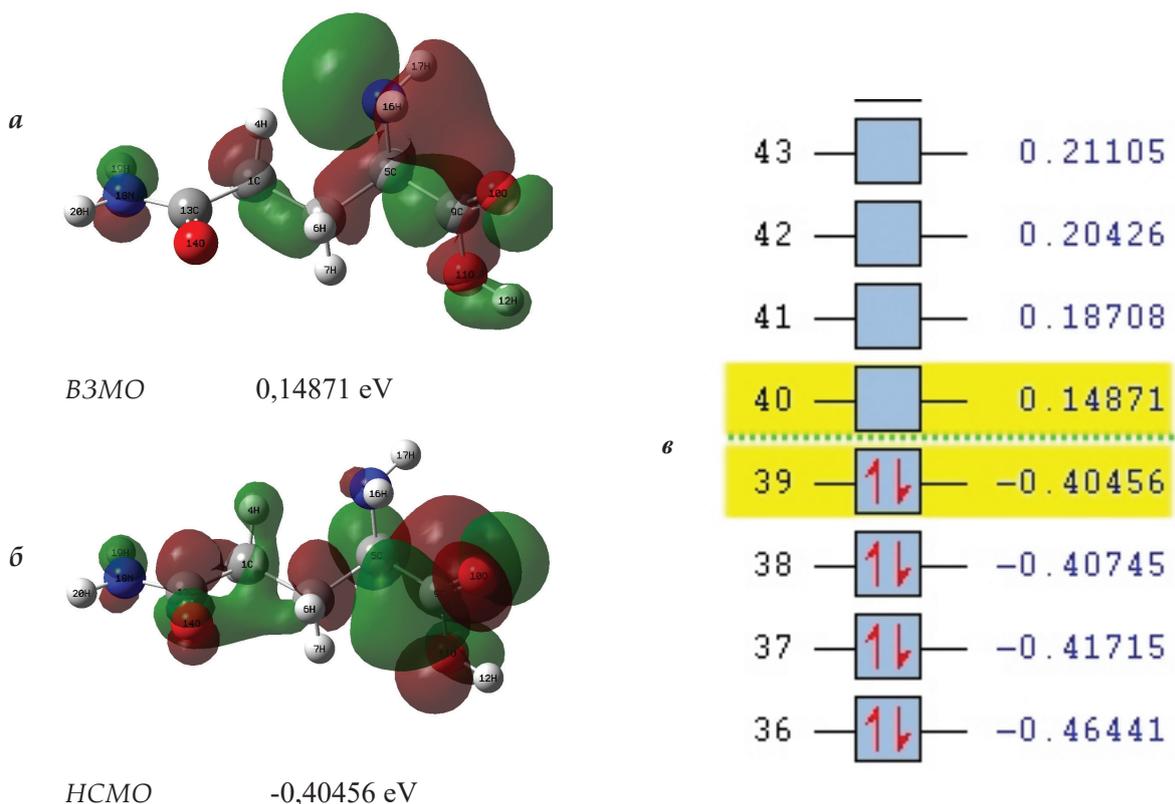


Рисунок 2. Распределения электронных плотности глуталина а) по V3MO, б) по HOMO и в) энергетическая диаграмма

Для глуталина МЭП (молекулярный электростатический потенциал) был рассчитан с помощью программы DFT/V3LYP базис 6-311G⁺⁺(d,p) и построена поверхность МЭП на рис.5. Электронная плотность нанесена на структуру поверхности, с электростатическим потенциалом изображает размер плотность заряда и реактивные узлы молекулы [11,12].

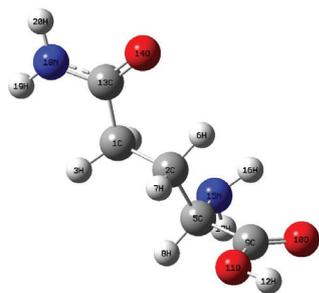


Рисунок 3. Структурна формула глуталина

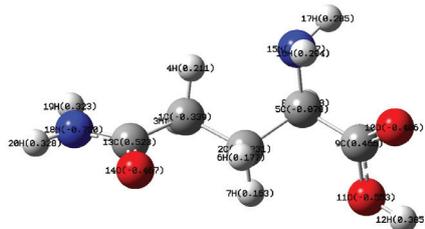


Рисунок 4. Распределение заряда по Малликену молекулы глуталина

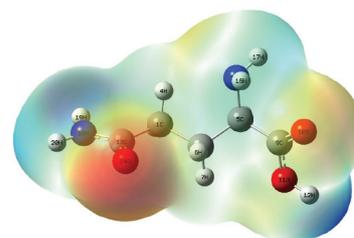


Рисунок 5. Молекулярный электростатический потенциал глуталина

Различные значения электростатического потенциала, представлены различными цветами: красный представляет области наиболее отрицательного электростатического потенциала, синий представляет области наиболее положительного электростатического потенциала, а зеленый цвет представляет области нулевого потенциала. Таким образом, можно прогнозировать, что электрофил будет преимущественно атаковать лиганд в азотных позициях.

Заключение

По результатам квантового-химического расчета установлено что, в рН =5,65 равным среде цвиттер-ионной форме глутамина наибольшей вероятностью в протонированном состоянии находится атом азота амидной группы, которая определяет реакционной способности этой аминокислоты в биохимических реакциях, а в щелочной среде получения комплексов только из аминокарбоксилатной группой.

В процессах комплексообразования основными электронодонорными центрами являются атомы азота и кислорода α -АКГ, способствующие образованию с ионами металлов комплексные соединения хелатного строения. Также, это доказано методом ИК-и ЭПР спектроскопии в комплексах ионами Na^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} и Cu^{2+} , эти результаты будет следующий нашей работы.

Список литературы

1. Wood E. J. "Lehninger's principles of biochemistry 3rd edition, New York, Biochemistry and Molecular Biology Education 5.28, 2000, 286-287p.
2. Chen P.E., Geballe M.T., Stansfeld P.J., Johnston A.R., Yuan H., Jacob A.L., Snyder J.P., Traynelis S.F., Wyllie D.J. A. Mol. Pharmacol.- 2005.- 67. 1470-1484p.
3. Sajadi S. A. A. Adv. Biosci// Biotechnol. -2010. -№1.-P. 354-360
4. Gorboletova G.G., Gridchin S.N. & Lutsenko A.A. Thermochemical study of processes of complex formation of Cu^{2+} ions with L-glutamine in aqueous solutions. Russ. J. Phys. Chem. -2010.-84.-P. 1856-1861 <https://doi.org/10.1134/S0036024410110063>
5. Wang HQ., Yao Z., Zhou Z. et al. Enzymatic synthesis of theanine with L-glutamine-Zn(II) complexes.// Biotechnol Bioproc E.2012.-№ 17.-P.1135-1139. <https://doi.org/10.1007/s12257-012-0205-0>
6. Kiersikowska E., Kita E., Kita P. et al. Hydrolytic and redox transformations of chromium(III) bis-oxalato complexes with glutaminic acid and glutamine: a kinetic, UV-Vis and EPR, study. Transition Met Chem.-2016.- №41.-P. 435-445. <https://doi.org/10.1007/s11243-016-0039-2>
7. van den Heuvel, R.H.H., Curti B., Vanoni M.A. et al. Glutamate synthase: a fascinating pathway from L-glutamine to L-glutamate. CMLS, Cell. Mol. Life Sci.-2004.-№ 61.-P. 669-681. <https://doi.org/10.1007/s00018-003-3316-0>
8. Şakıyan İ. Synthesis and characterization of four new manganese(III) complexes and amino acid (L-aspartic acid, L-asparagine, L-glutamic acid, L-glutamine) Schiff bases.// Transition Met Chem.-2007.-№ 32.-P. 131-135 <https://doi.org/10.1007/s11243-006-0139-5>
9. Eid T., Gruenbaum S.E., Dhaher R., Lee TS.W., Zhou Y., Danbolt N.C. (2016). The Glutamate-Glutamine Cycle in Epilepsy. In: Schousboe, A., Sonnewald, U. (eds) The Glutamate/GABA-Glutamine Cycle.// Advances in Neurobiology.-2016.- vol 13. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45096-4_14
10. Neese F. // Wiley Interdiscip. Rev.: Comput. Mol. Sci. -2012. -V. 2. N 1. -P. 73-78.
11. J. Chem. Inf. Model. -2017.-№ 57. -1.-P. 11-21 <https://doi.org/10.1021/acs.jcim.6b00340>
12. Grigorenko B.L., M.G. Khrenova, and A.V. Nemukhin. "Amide-imide tautomerization in the glutamine side chain in enzymatic and photochemical reactions in proteins." //Physical Chemistry Chemical Physics.-2018.-№ 20.37.-P.23827-23836.
13. Mardonov U. et al. "Study by methods of quantum-chemical calculation and EPR spectroscopy of the electronic structural and coordination properties of various forms of glutamine."// Universum: chemistry and biology.-2022.-№2-1 (92).-R. 49-54.
14. Saifullaev M. S., Mardonov U. M., Ganiev B.Sh., & Muzafarov, F.I. (2022). Study of the electronic-structural, reactive and coordination properties of glutamine.// Innovative materials and technologies: Materials of International, 319.
15. Koopmans T. Über die zuordnung von wellenfunktionen und eigenwerten zu den einzelnen elektronen eines atoms. Physica.- 1993.-№1(1 -6).-P.104-113.
16. Ryzhova O. N., Dorofeeva O. V. Prediction of the enthalpies of sublimation of cyclic derivatives of urea using the model of molecular electrostatic potential // Journal of Physical Chemistry. - 2019. - T. 93. - No. 10. - P. 1494-1499.
17. Yatsenko AV Structure of organic molecules in crystals: modeling using electrostatic potential // Uspekhi chemistry. - 2005. - T. 74. - No. 6. - S. 575-584.

Б.Ш. Ганиев¹, У.М. Мардонов¹, Ж.М. Ашуров²

¹Бўхара мемлекеттік университети, Бўхара, Ўзбекистан

²О.С. Садықов атындағы Биоорганикалық химия институты, Ўзбекистан Республикасы
Ғылым Академиясы, Ташкент, Ўзбекистан

Глутаминнің әртүрлі формаларын dft талдауды зерттеу

Аңдатпа. Бұл жұмыста КВАТ-химиялық есептеуді қолдана отырып, глутаминнің әртүрлі формаларының DFT талдауы мен электронды-құрылымдық және үйлестіру қасиеттерінің, шекаралық молекулалық орбитальдарының және жаһандық реактивтіліктің дескрипторларының нәтижелері келтірілген. Глутамин үшін DFT/B3LYP бағдарламасының көмегімен есептелді 6-311g(d,p) базис негізі және MEP – молекулалық электростатикалық потенциалдың беті салынған.

Түйін сөздер: тығыздық функционалдық теориясы, цвиттер ионы, молекула, заряд, құрылым, кванттық химиялық есептеулер, молекулалық электростатикалық потенциал.

B.Sh. Ganiyev¹, U.M. Mardonov¹, J.M. Ashurov²

¹Bukhara State University, Bukhara, Uzbekistan

²Institute of Bioorganic Chemistry named after O.S. Sodikov, Uzbekistan Academy of Sciences,
Tashkent, Uzbekistan

Studying dft analysis of various forms of glutamine

Abstract. This paper presents the results of DFT analysis and electron-structural and coordination properties, boundary molecular orbitals and descriptors of global reactivity of various forms of glutamine, using quantum-chemical calculation. For glutamine, the MEP was calculated using the DFT/B3LYP program, the basis 6-311G++(d,p) and the surface of the molecular electrostatic potential was constructed.

Key words: density functional theory, zwitterion, molecule, charge, structure, quantum-chemical calculations, molecular electrostatic potential.

Сведения об авторах:

Ганиев Б.Ш. – базовый докторант, Бухарский государственный университет, ул. М.Икбол, дом 11, Бухара, Узбекистан

Мардонов У.М. – к.х.н., доцент, Бухарский государственный университет, ул. М.Икбол, дом 11, Бухара, Узбекистан

Ашуров Ж.М. – д.х.н., профессор, Институт биоорганической химии им. О.С. Содикова, Академии Наук Республики Узбекистан, ул. Гуломова, 70, Ташкент, Узбекистан

Ganiyev B.Sh. – basic doctoral student, Bukhara State University, Ikbol str., 11, Bukhara, Uzbekistan

Mardonov U.M. – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Bukhara State University, Ikbol str., 11, Bukhara, Uzbekistan

Ashurov J.M. – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Institute of Bioorganic Chemistry named after O.S. Sodikov, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, 70, Gulomov str., Tashkent, Uzbekistan

М. Куликов¹, Э. КопишевЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
(E-mail: max25.1999@gmail.com¹)

Автор для корреспонденции: eldar_kopishev@mail.ru

Обзор: Извлечение металлов платиновой группы из каталитических конвертеров

Аннотация. Металлы платиновой группы (PGM) широко используются в каталитической промышленности благодаря своим выдающимся физико-химическим свойствам (высокотемпературная стабильность, высокая каталитическая активность). Они используются в медицине, электронике, нефтепереработке, производстве аммиака, топливных элементов, автомобилестроении и т.д. Каталитические отходы являются важным вторичным источником металлов, поскольку переработка отходов является более экономичным и экологичным способом получения металлов по сравнению с добычей из руд. Отработанный автомобильный катализатор является богатым источником металлов платиновой группы [PGM: платина (Pt), палладий (Pd) и родий (Rh)], которые содержат более высокие концентрации PGM, чем в природных рудах. В данной статье представлен критический обзор состояния методов извлечения металлов платиновой группы из утилизированных катализаторов, их преимуществ и недостатков. В результате были проанализированы все методы и выделены наиболее перспективные (наиболее экологичные и экономичные).

Ключевые слова: металлы платиновой группы (PGM), автокатализатор, каталитические отходы, переработка, пиро/гидрометаллургия, магнитное разделение.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2023-142-1-37-71>

Введение

Металлы платиновой группы (PGM), такие как платина и палладий, представляли интерес с древних времен. После открытия испанцами в XVIII веке и обнаружения в XIX-XX веках многочисленных месторождений на территориях нынешних Российской Федерации, США, Канады и Южной Африки, платина заняла своё важное место в мировой промышленности [1]. Спрос на добычу платины возрастал с течением времени вследствие её активного применения в различных отраслях, начиная от открытия возможности использования платины в ювелирном деле ещё в XVIII веке и заканчивая активным применением в качестве катализатора последние 2 века [2].

С 70-х годов XX века металлы платиновой группы активно используются в автомобильной промышленности в качестве катализаторов для переработки выхлопных газов [3]. Разработка и усовершенствование различных экологических стандартов, таких как Евро, привели к ещё большему увеличению потребности в PGM катализаторах.

Обогащение руд и извлечение PGM из этих руд являются трудоемкими процессами, вследствие чего в последние десятилетия возник спрос на разработку более экологичных, лёгких и быстрых методов получения каталитических систем, коими является переработка каталитических отходов. В том числе переработка автокатализаторов после утилизации

автомобилей. Вследствие всего вышесказанного, данная статья концентрируется на обзоре успехов в разработке и применении методов переработки утилизированных автокатализаторов для получения каталитических систем.

Металлы платиновой группы занимают важное место в химии и химической технологии. PGM включают в себя такие металлы как платина (Pt), палладий (Pd), родий (Rh), рутений (Ru), осмий (Os), иридий (Ir) [1]. Их химическая стабильность при высоких температурах и в различных условиях придают им статус выдающихся материалов для широкого диапазона отраслей производств (Рисунок 1). В том числе, возможно, самым важным применением является использование их в качестве катализаторов для ускорения химических реакций и, когда несколько реакций происходят одновременно, селективного ускорения наиболее нужных реакций [4–12]. В качестве катализаторов они находят применение в производстве аммиака и нитрата аммония [13–16], автокатализаторов [1,10,17,18], водородных топливных элементов [19–22] и т.д.

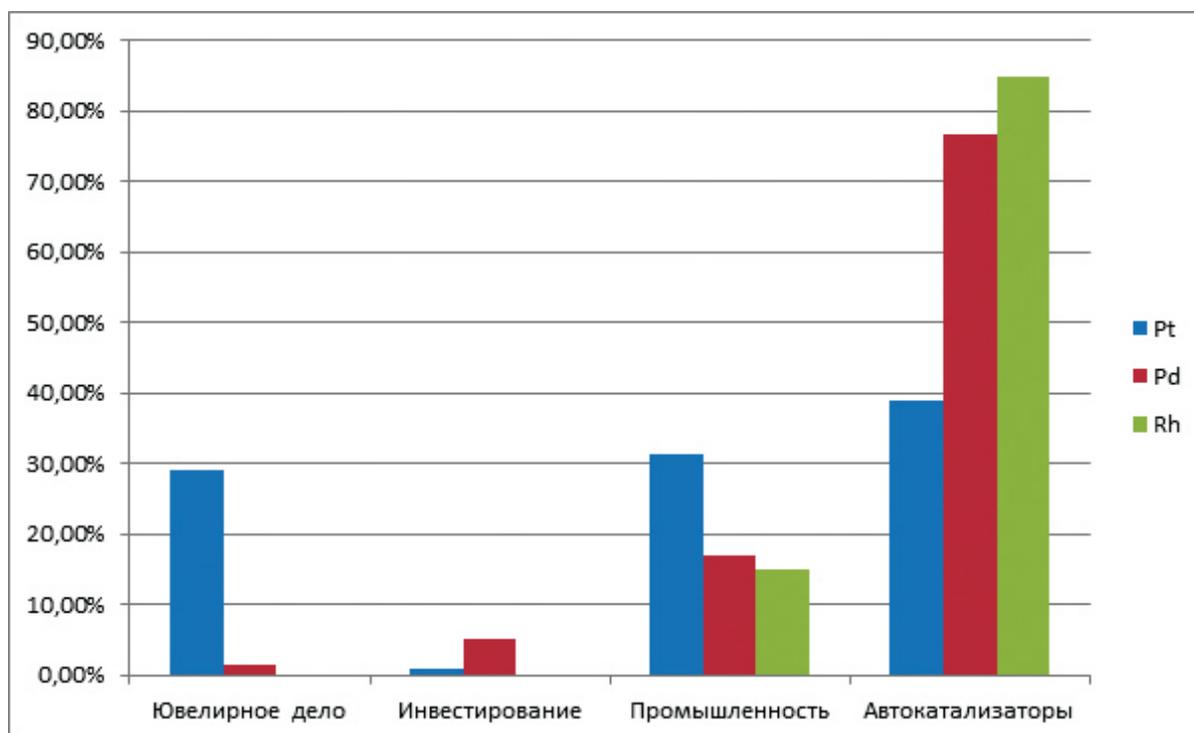


Рисунок 1 – Чистый спрос на Pt (196 тонн), Pd (249,4 тонн) и Rh (24,3 тонны) для различных отраслей за 2022 год [23]

PGM катализаторы это новый тип смешанных оксидных катализаторов, чья химическую поверхность и катализ могут рассматриваться при одинаковых условиях как рабочие оксидные катализаторы [6]. В PGM катализаторах родий используется как восстановительный катализатор, палладий как окислительный, а платина как окислительно-восстановительный катализатор [24]. Координация кислорода вокруг их поверхностей в большей степени зависит от каталитической активности металлов платиновой группы. PGM синтезируются при помощи различных методов и чаще всего представлены в виде микроструктур/наноструктур с интересными формами, такими как сферическая, пирамидальная, кубическая и гантелевидная [25]. Платиновые катализаторы привлекли к себе большой интерес из-за высокой активности окисления CO.

Платина, палладий и родий имеют большой спрос на индустриальном рынке (Рисунок 2) [1].

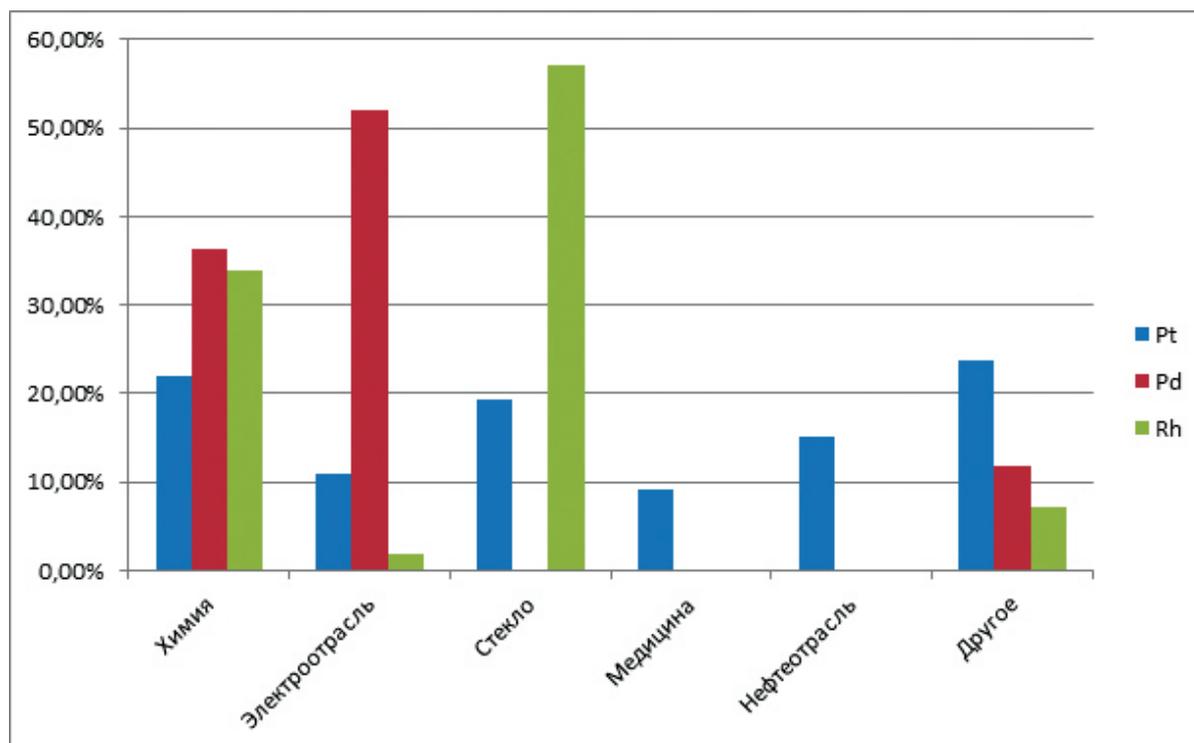


Рисунок 2 – Спрос на PGM для промышленного сектора

PGM катализаторы имеют широкий спектр применений в промышленном секторе (Таблица 1).

Таблица 1 – Применение PGM катализаторов

Катализатор	Реакция	Литература
Pt/Al ₂ O ₃ /SiO ₂	Диспропорционирование толуола в бензол	[26]
Pd/H-Υ-Цеолит	Получение топлива путем крекинга вакуумных дистиллятов	[27]
Pt/Цеолит	Изомеризация ксилола	[28]
Pt/Pd/Rh	Промышленные выбросы	[29–31]
Pt, Pd/оксид-носители	Удаление летучих органических соединений	[32–34]
Pt	Обессеривание	[35]
Pt/Цеолит	Реформинг нефти	[36]
Pd	Капролактамы	[37,38]
Pd/ оксид-носители	Теломеризация	[39]
Pd	Производство толуилеңдиизоцианата	[40]
Pd суспензия	Производство of H ₂ O ₂	[37]
Pd	Гидрирование биомасел	[41,42]
Pt/Pd/Rh	Окисление аммиака	[43]
Pt, Pd	Кетоны/альдегиды в спирты	[44]
Pt/Pd/Rh	Производство азотной кислоты	[37]
Rh, Pd/SiO ₂	Производство уксусной кислоты	[37]

Rh	Производство цитронеллы	
Pd(II)Cl ₂	Производство ацетальдегида	[37]
Pd	Амидокарбонилирование 2,5-дихлорпиридина	[45]
Pt	Гидрирование	[42,46]
PdCl ₂	Карбонилирование замещенного спирта	[47]
Pd	Аминирование альдегидов и кетонов	[48]
Pd	Производство октена	[49]

В области химических продуктов тонкого органического синтеза существует ряд применений, требующих высокой селективности и имеющих лишь небольшой тоннаж продукта. Более 50% производства в этой области приходится на фармацевтику, 25% - на сельское хозяйство, а остальные 25% примерно поровну распределяются между ароматизаторами, красителями и пигментами и пищевыми добавками [42]. Реакции гидрирования используются для получения 10-20% продуктов, включая гидрирование нитросоединений, асимметричный катализ и селективную гидрогенизацию двойных связей, причем большинство этих реакций проводят на Pd-катализаторах, хотя могут также использоваться и другие катализаторы. Одной из важных реакций гидрирования является восстановление нитробензола, используемого в анилиновых красителях, взрывчатых веществах и производстве лекарств. Другой важной асимметричной реакцией является получение ментола, которое осуществляется на Rh-катализаторе.

В нефтепереработке дистилляция различных фракций сырой нефти является ключевым промышленным процессом, включая производство нефти (жидкого дистиллята). Перегонка дистиллятов, полученных из сырой нефти, и риформинг нефти являются двумя наиболее важными процессами в современном промышленном катализе, особенно для производства топлива [50]. Pd на цеолитном мордените является одним из катализаторов, который используется для перегонки. Изомеризация важна для повышения октанового числа путем получения разветвленных продуктов из линейных алканов. Pt на подкисленном мордените или смесях оксида алюминия и кремнезема используется в реакциях изомеризации для увеличения количества параксилола в смеси орто-, мета- и пара-ксилола, который впоследствии используется в качестве предшественника полиэтилентерефталата (ПЭТ).

В исследовании [51] было определено, что катализатор, содержащий всего один процент родия, который наносится на смешанный оксид церия-циркония (1% Rh/Ce_{0.75}Zr_{0.25}O₂), обладает высокой активностью в течение длительного времени, не загрязняется и позволяет получить топливный газ с необходимыми характеристиками в диапазоне низких температур (300-400 °C). Одна из ключевых особенностей родиевых катализаторов – генерирование этана в небольших количествах, которого достаточно для регулирования топливных характеристик получаемого газа. Родий в данном исследовании рассматривается в качестве альтернативы никелю за счёт своей более высокой активности и стабильности, также родиевые катализаторы можно использовать без предварительной обработки в восстановительной среде.

Структурные свойства катализаторов

Поверхностная структура платиновых оксидных катализаторов по своей природе является объемно-кристаллической. Оксидная кристаллическая структура показана на рисунке 3.

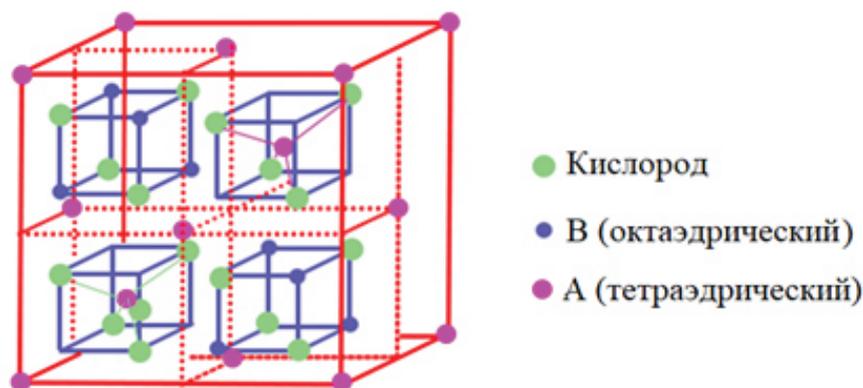


Рисунок 3 – Позиция кислорода в платиновом оксидном катализаторе [6]

Каталитические свойства платиновых оксидных катализаторов в основном зависят от их способности предоставлять поверхностный кислород в качестве реагента [6]. Кислородные вакансии около катализаторных поверхностей являются основной причиной физического и химического поведения систем, помимо последствий для каталитической реакционной способности (Рисунок 4).

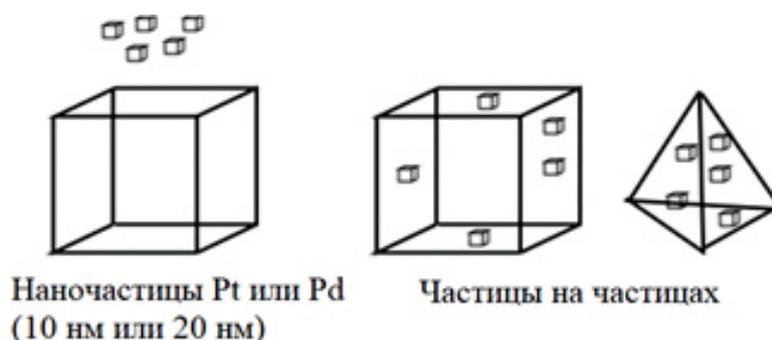


Рисунок 4 – Молекулярная структура платиновых оксидных катализаторов. Pt, платина; Pd, палладий [6]

Большинство платиновых оксидных катализаторов имеют определенную структуру. Она возникает при заполнении полуоктаэдрических позиций катионами гексагонально плотноупакованными анионами кислорода [6]. Связь между кислородом и металлом сильно зависит от расположения катионов металла и анионами кислорода.

Таблица 2. – Свойства платиновых, палладиевых и родиевых катализаторов

Свойство	Платина	Палладий	Родий
Точка плавления	1768,3 °С	1554 °С	1963 °С
Точка кипения	3825 °С	3213 °С	3727 °С
Атомный номер	78	46	45
Относительная атомная масса	195	107	103
Плотность	21,5 г/см ³	12,02 г/см ³	12,41 г/см ³

PGM катализаторы, представленные в автокатализаторах (Рисунок 5) содержат Pt, Pd и Rh. Самые распространенные автокатализаторы представляют собой кордиеритовую оболочку ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) в виде сот с плотностью 60-120 ячеек/см² и стенами между ячеек толщиной около 150 мкм [52–56].



Рисунок 5 – Утилизированный автокатализатор Toyota Mark II, проработавший на бензиновом топливе 28 лет

На кордиеритовые стены нанесено гладкоповерхностное покрытие, которое составляет около 20-30% от общего веса катализатора. Главными свойствами необходимыми для покрытия это способность расположения благородных металлов и проявление химической инерции по отношению к реакционной среде. Данным требованиям соответствуют гамма-оксид алюминия ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) (Рисунок 6), щелочноземельные металлы, а также такие оксиды как CeO_2 , La_2O_3 , ZrO_2 , BaO , TiO_2 , Y_2O_3 , NiO , WO_3 и др. [55].

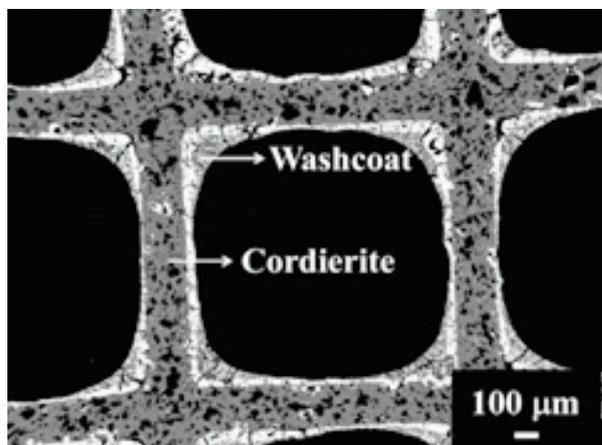


Рисунок 6 – Кордиеритовая оболочка автокатализатора с нанесенным $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ [53]

Металлы платиновой группы располагаются на поверхности $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ путём пропиткой растворами гексохлороплатиновой кислоты ($\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), хлоридом палладия (PdCl_2) и хлоридом родия (RhCl_3). Далее они восстанавливаются до своих металлических форм [57].

Сырьем для производства катализаторов являются руды, которые обогащаются определенными методами и из концентратов которых извлекаются непосредственно PGM.

Обогащение руд металлов платиновой группы

Руды металлов платиновой группы обрабатываются различными методами предварительного обогащения в соответствии с их текстурными и минералогическими характеристиками. Руды PGM

обрабатывались с использованием технологии, включающей механическое обогащение, высокотемпературное плавление, первичную обработку и гидрометаллургическую переработку [58,59].

Имеется очень мало опубликованной литературы, касающейся обогащения руд металлов платиновой группы по сравнению с другими металлами [60]. Тем не менее, некоторые исследователи внесли значительный вклад в изучение обогащения PGM-содержащих руд [61–66].

Методы обогащения для извлечения минералов PGM из руд зависят от многих факторов, таких как минералогия, тип минерализации и характеристики вмещающей породы. Различные типы методов обогащения, которые используются для предварительного обогащения PGM-содержащих минералов, описаны в таблице 3.

Таблица 3 – Методы обогащения PGM руд

Руда/месторождение	Метод обогащения	Определяемые минералы	Литература
Хромитовая руда (PGM-содержащая)	Гидросепарация	Руарсит, эрликманит	[67]
Руда аляскинского или дунитового типа	Магнетическая сепарация, отсадка, пэннинг	Сперрилит, Осмистый иридий, платина–иридиевый, куперит, и т.д.	[61,68,69]
Раглановская руда	Гравитационное обогащение	Сперрилит, мончеит	[60,70]
Феррохромит (PGM-содержащий)	Гравитационная и магнетическая сепарация	Браггит, судбурит, лаурит	[60,71]
Сульфидные руды (PGM-содержащие)	Измельчение, скоростная флотация, пенная флотация	Куперит, браггит и т.д.	[60,61,72,73]
Cu-Ni сульфидная руда	Гидросепарация, гравитационное обогащение	Тетраферроплатина, куперит, сперрилит	[74]
PGM минералы сопутствующие Fe	Гравитационная и магнетическая сепарация	Никельферроплатина, ферроплатина, туламинит	[75]
Руда содержащая хромит (PGM-содержащая)	Измельчение, скоростная флотация, пенная флотация	Куперит, маланит, лаурит, браггит и т.д.	[60,61,73,76]
Cu-Ni сульфидное месторождение в Норильске	Флотация	Изоферроплатина, куперит и т.д.	[60,61,77]
Руда, содержащая сульфид основного металла (PGM-содержащая)	Измельчение, флотация, микрофлотация	Палладий, сперрилит, изоферроплатина и т.д.	[78,79]

Руда аляскинского типа	Измельчение, магнетическая сепарация, гидросепарация	Платиноиридиевый сплав изоферроплатина, лаурит и т.д.	[73,80,81]
Феррохромитовое месторождение	Измельчение, гравитационная сепарация	Брагит, судбурит, лаурит	[62]
Мелкодисперсные PGM Минералы, содержащие сульфиды	Измельчение, флотация	Мончеит, брагит, высокоцит и т.д.	[60,82]
Низкосортное россыпное месторождение	Флотация	Изоферроплатина, сперрилит	[83–85]
Cu–Ni сульфидное месторождение в Юньнани	Флотация, выщелачивание		[86]

Как правило, обработка размельчением-гравитационная разделением-флотацией применяется по отношению к рудам металлов платиновой группы. Для достижения максимального извлечения требуется получить желаемую степень высвобождения минералов PGM. Следовательно, выбор процесса измельчения и его стадий основан на минералогических характеристиках руды. Сульфидные минералы металлов платиновой группы, обладающие хорошей степенью высвобождения, обогащаются с использованием методов гравитации и флотации. Связанные с хромшпинелидами руды PGM в некоторых случаях могут быть обработаны с помощью магнитного разделения, в противном случае для предварительной обогащения может быть использован метод гравитационного разделения. Однако для очень низкосортных руд металлов платиновой группы, имеющих очень маленький размер зерна и с плохой степенью высвобождения перед флотацией используются усовершенствованные методы гравитационного разделения [58]. Поскольку минералы PGM мелкодисперсны, обычное гравитационное разделение может быть неэффективно по отношению к ним, поэтому многие исследователи проводили работу над усовершенствованными гравитационными разделителями для обработки таких мелких частиц [62,70]. Флотационные концентраты подвергаются пирометаллургической обработке с получением PGM, содержащих штейн PGM-Ni-Cu. Основные и благородные металлы отделяются от штейна при помощи гидрометаллургических процессов. Наконец, индивидуальные благородные металлы извлекаются в их чистом виде путем очистки концентратов PGM [87]. Также проводилось несколько исследований в различных средах измельчения для выделения минералов PGM и разработки реагентов для повышения извлечения при флотации [65,88,89]. В исследовании [65] исследования проводились при различных измельчающих средах и наибольшее извлечение металлов платиновой группы было получено путем флотации, в которой используются измельченные продукты из керамических сред. В

исследовании [89] обнаружено, что добавление извести во время измельчения приводит к хорошему извлечению при флотации.

В результате обогащения руд появляется возможность непосредственного извлечения PGM.

Извлечение металлов платиновой группы из концентратов

Металлы платиновой группы находятся среди редчайших элементов в периодической таблице, что подтверждается данными из таблицы 4.

Таблица 4 – Распространенность PGM

Металл	Атомный номер	Распространенность (Атомов/10 ⁶ атомов Si)	Распространенность в верхней континентальной коре (млрд ⁻¹)	Мировые ресурсы (тонн)
Fe	28	600000	5,2%	110*10 ⁹
Ru	44	1,49	0,03	5000
Rh	45	0,214	0,018	3090
Pd	46	0,675	0,526	24302
Os	76	1	0,05	580
Ir	77	0,821	0,022	1074
Pt	78	1,625	0,599	32896
Ce	58	2,26	65	299*10 ⁶

Железо приведено для сравнения, церий включен, так как является важным вспомогательным металлом в производстве автокатализаторов, отрасли с наибольшим потреблением Pt и Pd [1,23,90].

PGM в основном находятся либо в сидерофильном состоянии в виде чистых металлов или сплавов, либо в халькофильном состоянии в виде руд. Крупнейшие рудные месторождения, содержащие PGM, это ультрамафические и мафические магматические породы, которые в основном находятся в таких странах как Канада, РФ, ЮАР, США и Зимбабве [91–93]. По расчётам исследования [1] «продолжительность жизни» металлов платиновой группы составляет около 200 лет (кроме палладия, у которого 100 лет).

Экстракция PGM из сульфидных руд

Практически все металлы платиновой группы производятся из сульфидных руд [94]. Небольшое количество добывается из россыпных месторождений металлической платины в России, однако большая часть руд находится в месторождениях ЮАР [95]. Южноафриканские руды обычно содержат 3-4 г элементов платиновой группы на тонну руды.

Таблица 5 – Минералы содержащие PGM

Сульфиды	Браггит (Pt,Pd)S, куперит PtS, лаурит Ru,[Os,Ir]S ₂ и названные Pt, Rh, Cu, S минералы
Pt-Fe	Изоферроплатина Pt ₃ Fe, тетраферроплатина PtFe
Арсениды	Сперрилит PtAs ₂
Теллуриды	Мончеит PtTe ₂

Добыча элементов платиновой группы очень затратна. Поэтому извлечение этих элементов в концентрат должно быть настолько высоким, насколько возможно.

PGM находятся в основном в сульфидных минералах в рудном месторождении. Они растворяются в пентландите [(Ni,Fe)₉S₈] или представлены в виде отдельных минеральных зёрен, к примеру, браггит [(Pt,Pd)S]. Минералы содержащие металлы платиновой группы чаще всего перекрыты зёрнами пентландита, пирротина [Fe₈S₉] или халькопирита [CuFeS₂] [72,96]. PGM извлекаются посредством следующих шагов:

- Дробление и измельчение руды;
- Получение сульфидного концентрата богатого платиной, преимущественно путём пенной флотации;
- Плавление и превращение концентрата в штейн;

- Очистка металлов платиновой группы из штейна при помощи гидрометаллургических техник.

Штейн, полученный после плавления и превращения концентрата, содержит около 0,3% от общего количества PGM. Данный штейн выщелачивается в серной кислоте с кислородом для получения нерастворимого твердого остатка содержащего около 60% от общего количества PGM.

Первый шаг в очистке металлов платиновой группы - это растворение полученного ранее твердого остатка в соляной кислоте используя хлор как окислитель. Это растворяет все драгоценные металлы кроме серебра. Осмий образует OsO_4 , который летуч и захватывается в газовой фазе.

Элементы платиновой группы отделяются и очищаются на различные металлы следующим образом:

- Последовательное удаление каждого элемента из выщелаченного раствора процессами осаждения, ионного обмена и испарения;
- Очистка каждого элемента в растворе с помощью аналогичного набора процессов;
- Образование металла прокаливанием или восстановлением.

Чистота готового продукта обычно в районе 99,9-99,99%.

Гравитационное разделение [94,95]

Платиносодержащие минералы намного плотнее, чем вмещающая порода и железо. К примеру, плотности изоферроплатины Pt_3Fe , тетраферроплатины $PtFe$ равняются 18 и 16 соответственно. Плотности же пентландита $(Ni,Fe)_9S_8$, хромита $(Fe,Mg)Cr_2O_4$, пироксена $(Mg,Fe)_2Si_2O_6$ и кварца SiO_2 равняются 5, 5, 4 и 3 соответственно. Разница в плотностях используется для получения гравитационного концентрата содержащего около 20% PGM. Остатки руды подвергаются дальнейшему процессу флотации.

Металлы платиновой группы используются в различных отраслях промышленности. Содержание PGM в промышленных отходах, таких как автокатализаторы, выше, чем в природных рудах [97,98]. Вследствие этого и большой ценности данных металлов, существует интерес к переработке автокатализаторов при помощи экологических и незатратных методов [99-105].

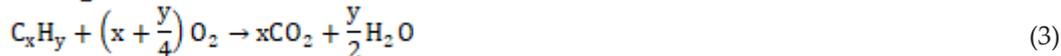
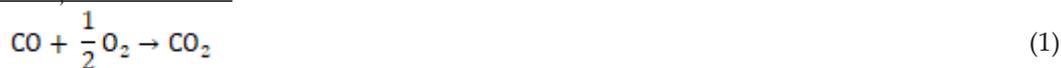
Переработка автокатализаторов

Отравление автокатализаторов

Современные системы контроля выбросов внутри каждого автомобиля основаны на трёхкомпонентных автокатализаторах, которые уменьшают выброс NO_x и окисляют все неиспользованные углеводороды и монооксид углерода.

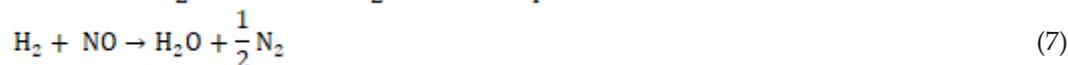
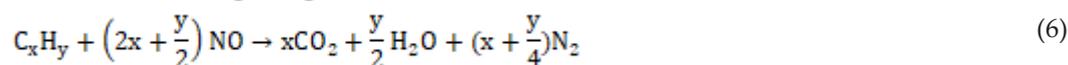
Основные реакции, которые имеют место быть в трёхкомпонентных автокатализаторах [106]:

Реакции окисления



Паровой риформинг



Уменьшение выбросов NO_x Конверсия водяного газа

Широко известно, что каталитическая активность постепенно снижается в ходе эксплуатации автомобиля. По мере старения автокатализатора различные соединения серы, содержащиеся в дизельном топливе, могут откладываться на его поверхности и снижать его активность. Высокие температуры эксплуатации также могут снижать каталитическую активность, т.к. наночастицы платины соединяются и их агрегированная площадь снижается (агломерация). При потере площади драгоценных металлов, реагирующих с выхлопными газами, снизится и конверсия.

Как бензиновое, так и дизельное топливо может содержать значительные объёмы соединений органической серы, которые сгорают в двигателе с образованием различных сернистых газов [106]. Они быстро отравляют каталитическую активность платиновых и палладиевых катализаторов (Рисунок 7).

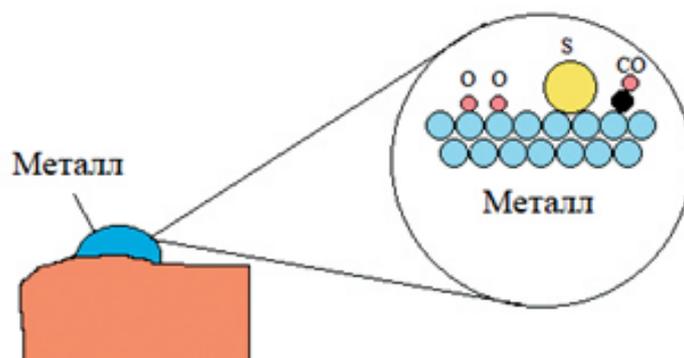


Рисунок 7 – Механизм отравления платинового катализатора органической серой

В высокотемпературной среде бензинового двигателя избавление от серы часто происходит спонтанно: сульфаты, сформировавшиеся на каталитических поверхностях, десорбируются при высоких температурах и каталитическая активность в значительной степени восстанавливается [107]. К сожалению, в условиях более низкотемпературных дизелей такая десорбция происходит редко и катализаторы на основе палладия страдают от дезактивации из-за отравления серой.

Использование катализаторов на основе сплавов Pt-Pd значительно улучшают сопротивление к окислению и отравления серой, что увеличивает продолжительность жизни автокатализатора и его активность [108].

Элементы серы могут быть представлены в формах SO_2 и SO_3 [109]. Когда выхлоп проходит через автокатализатор, SO_2 адсорбируется на катализаторе и уменьшает скорость протекания химических реакций. Пока концентрация кислорода высока, адсорбированный SO_2 может окислиться до SO_3 и выделиться в виде газа. SO_2 , который адсорбируется на активном центре катализатора, может разложиться на SO .

Эффективность конверсии C_3H_6 , CO и NO_x была изучена в районе температур от 450÷950 К при различных значениях адсорбированного SO_2 (Рисунок 8).

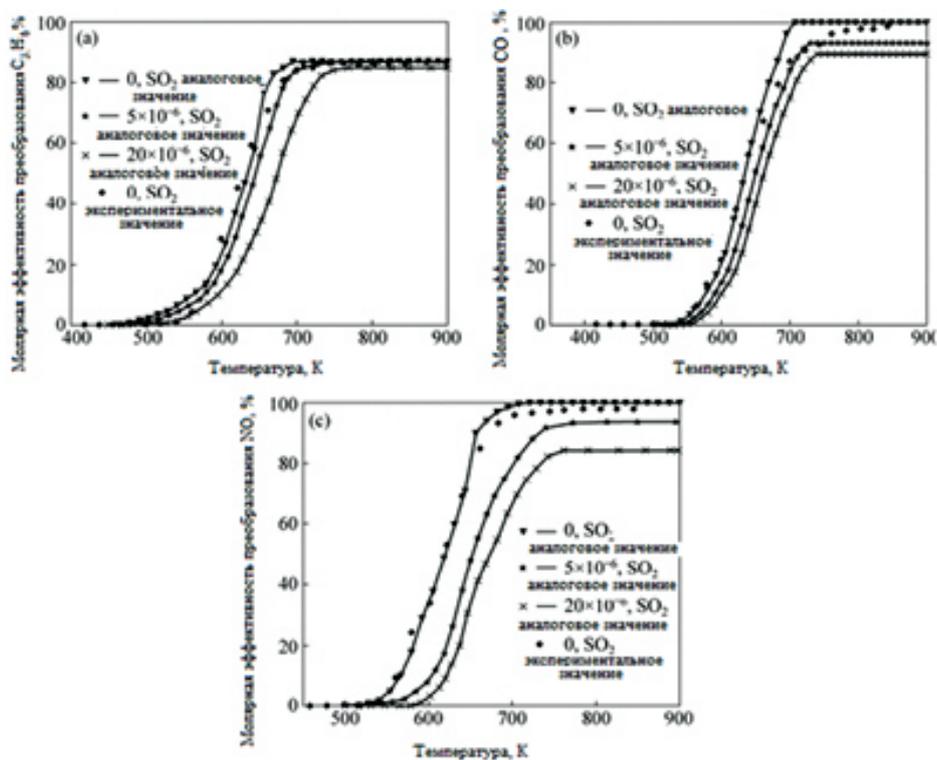


Рисунок 8 – Кривые эффективности преобразования C_3H_6 (a), CO (b) и NO_x (c) при различном содержании SO_2 [110]

Как видно из экспериментальных данных, при увеличении значения адсорбированного SO_2 эффективность конверсии значительно уменьшается, а температура достижения 50% значения конверсии увеличивается.

Состояние автотранспорта в Республике Казахстан

В 2022 году министром внутренних дел РК Маратом Ахметжановым было отмечено, что с 2019 года по сегодняшний день количество автотранспорта возросло с 3,9 миллиона до 5 миллионов единиц [111]. Однако также министр отметил большую степень изношенности.

Бюро Национальной статистики РК в 2022 г. опубликовало данные о том, что в автопарке легковых авто преобладают автомобили, выпущенные 20 лет назад и старше, – 50,3%, доля автотранспортных средств, возраст которых составляет от 10 до 20 лет, равен 21,1%, от 7 до 10 лет – 14,5%, от 3 до 7 лет – 6,4%, и лишь 7,6% машин имеют срок эксплуатации менее 3 лет (Рисунок 9) [112]. Доля автомобилей, выпущенных более 20 лет назад, среди грузовых авто занимает 60,8%, автобусов – 42,2%.

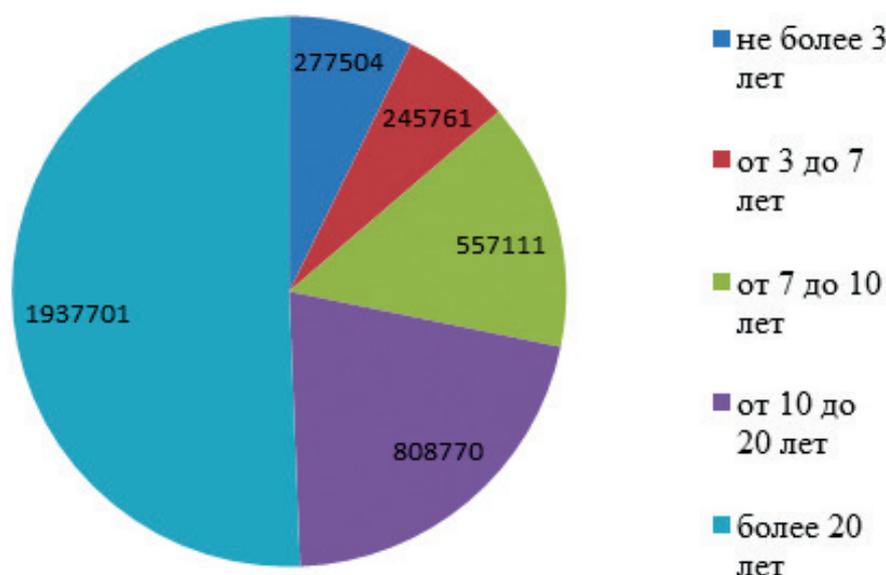


Рисунок 9 – Количество легковых автотранспортных средств по году выпуска

Также имеются данные о том, что в 2021 году казахстанцы сдали рекордное количество старой транспортной техники на утилизацию [113]. За период с января по ноябрь уходящего года у населения принято 50 005 транспортных средств, в числе которых: 37 495 легковых автомобилей, 5271 автобусов и 7 239 грузовиков. Зная, что на 1 кг автокатализатора в среднем приходится 1,5 г

платины, 1,3-1,4 г палладия и 0,15 г родия, потенциальная переработка автокатализаторов из данных утилизированных автомобилей могла бы принести около 75 кг платины, 70 кг палладия и 7,5 кг родия с общей рыночной стоимостью приблизительно 8,5 млн \$.

Извлечение PGM

Методы извлечения PGM разнообразны [105]: пиро/гидрометаллургические с последующим извлечением элементов [53,97,101,114–118], биологические [119,120], методы выщелачивания [100,121–124] и применяются для эффективной и экологичной переработки металлов платиновой группы из автокатализаторов. Выбор метода зависит во многом от концентраций PGM и наличия других веществ. Впрочем, методы гидрометаллургии и пирометаллургии являются преобладающими. Эти методы широко применяются для эффективного отделения и выделения металлов платиновой группы различными корпорациями и производствами, такими как Umicore, Johnson Matthey, Hecaus, и Nippon [125]. Катализаторные отходы отделяются, высушиваются, размельчаются и подвергаются обработке методами гидрометаллургии и пирометаллургии. Британская компания Johnson Matthey применяет плавление, выщелачивание и очистку для восстановления металлов платиновой группы и других попутных металлов [97]. Бельгийская компания Umicore плавит катализаторные смешанные отходы с электронными отходами в высокотемпературной печи для получения концентрата, содержащего платину, палладий, медь и другие металлы, которые далее подвергаются обработке гидрометаллургическим методом [126].

Гидрометаллургический метод

В гидрометаллургическом процессе (Рисунок 10) необходимо провести предварительную обработку каталитических отходов для удаления органических остатков.

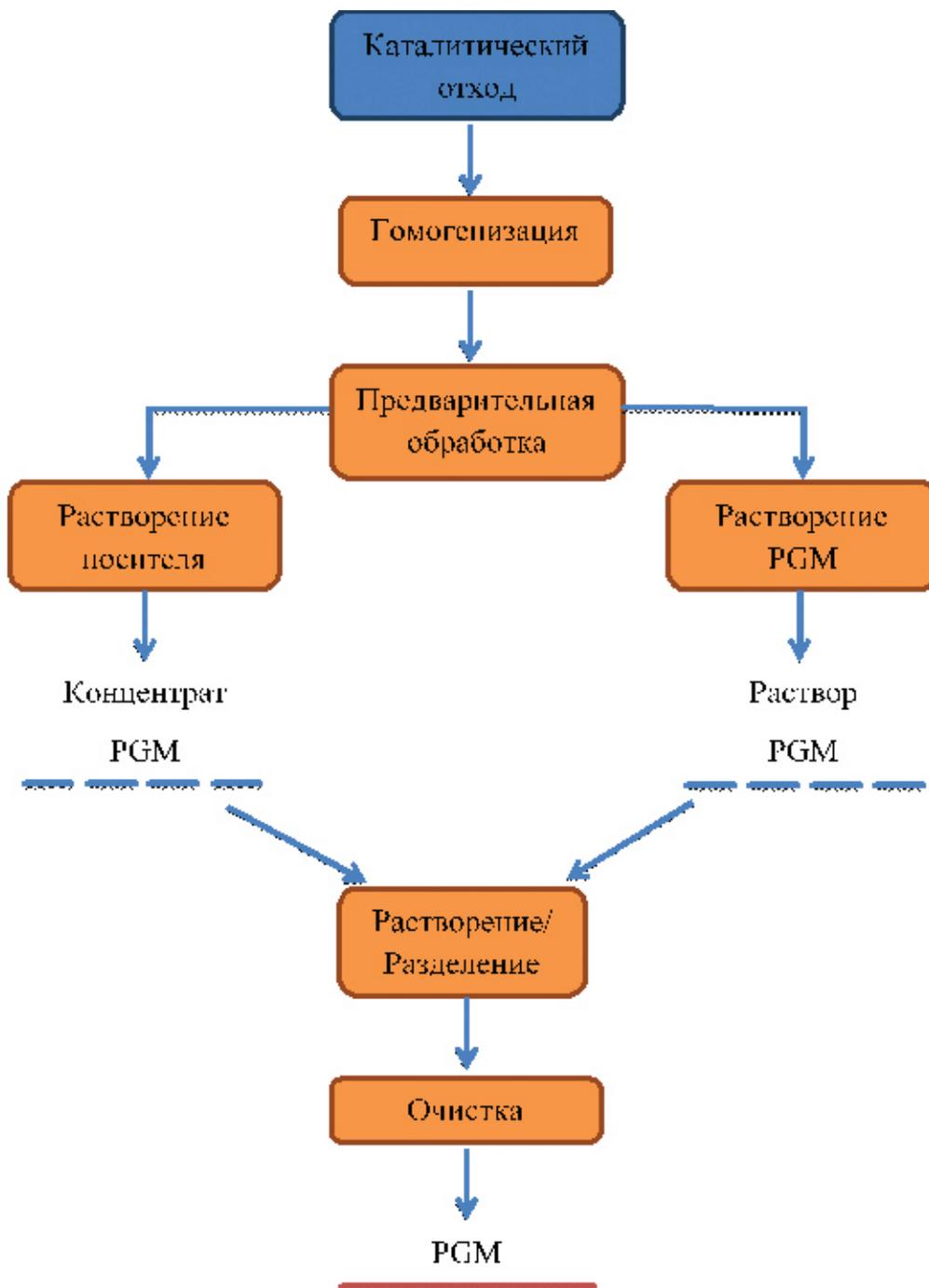
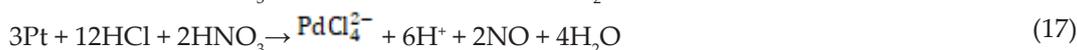


Рисунок 10 – Схема переработки PGM методом гидрометаллургии

Pt-Re/ γ -Al₂O₃, Pt-Sn/ γ Al₂O₃ и Pd/ γ -Al₂O₃ катализаторы могут быть обработаны посредством растворения в кислоте или щелочи благодаря амфотерным свойствам Al₂O₃. Мелкоизмельченный катализатор растворяется в серной кислоте, таким образом, Pt и Pd

концентрируются в выщелоченном остатке. Некоторое количество из растворенных PGM может быть восстановлено процессом цементации используя алюминиевый порошок в качестве восстанавливающего реагента [127]. В исследовании [128] утилизированный автокатализатор был автоклавно выщелочен серной кислотой. Растворение щелочью происходит по методу Байера, Al_2O_3 растворяется в NaOH или KOH. Однако данный метод имеет минус в виду того, что он является очень энергозатратным и требует сложной аппаратуры (для проведения выщелачивания $\gamma-Al_2O_3$ требуются большие температуры и давление).

Также PGM в утилизированных катализаторах выщелачиваются в соляной кислоте окислителями (HNO_3 , Cl_2 , $NaClO$, $NaClO_3$, H_2O_2) [129–131]. В выщелоченной системе образующийся хлор предоставляет большой окислительный потенциал и большую концентрацию хлорид ионов. Как в результате, PGM, в основном, в виде хлорокомплексов ($[PtCl_6]^{2-}$, $[PdCl_4]^{2-}$, $[RhCl_6]^{3-}$):



В процессе будет наблюдаться низкий выход PGM. Поэтому предварительная обработка (тонкое измельчение, обжиг, восстановление, выщелачивание под давлением) необходима. Во многих исследованиях [53,132] отмечались различные методы предварительной обработки (окислительный обжиг, восстановительный обжиг, предварительное выщелачивание и т.д.) для выведения органических соединений с поверхности катализатора.

Также металлы платиновой группы выщелачиваются подходящей в данных условиях кислотой или раствором щелочи, такими как царская водка, серная кислота, хлорат натрия, гидроксид натрия и др. [99,101,104,122,133–135]. После выщелачивания металлы концентрируются методами осаждения или жидкостной экстракцией с последующим их очищением.

Метод гидрометаллургии нашёл широкое применение. Тем не менее, низкий процент экстракции (в особенности родия), высокая стоимость реагентов, большое количество токсичных отходов и долгое время выполнения ограничивают дальнейшее его развитие. Что более важно, затруднена переработка металлов платиновой группы при их низком содержании в автокатализаторе [53,99,136].

Пирометаллургический метод

Пирометаллургические процессы являются одними из главных методов переработки металлов платиновой группы из катализаторных отходов (Рисунок 11) [97,136–139].

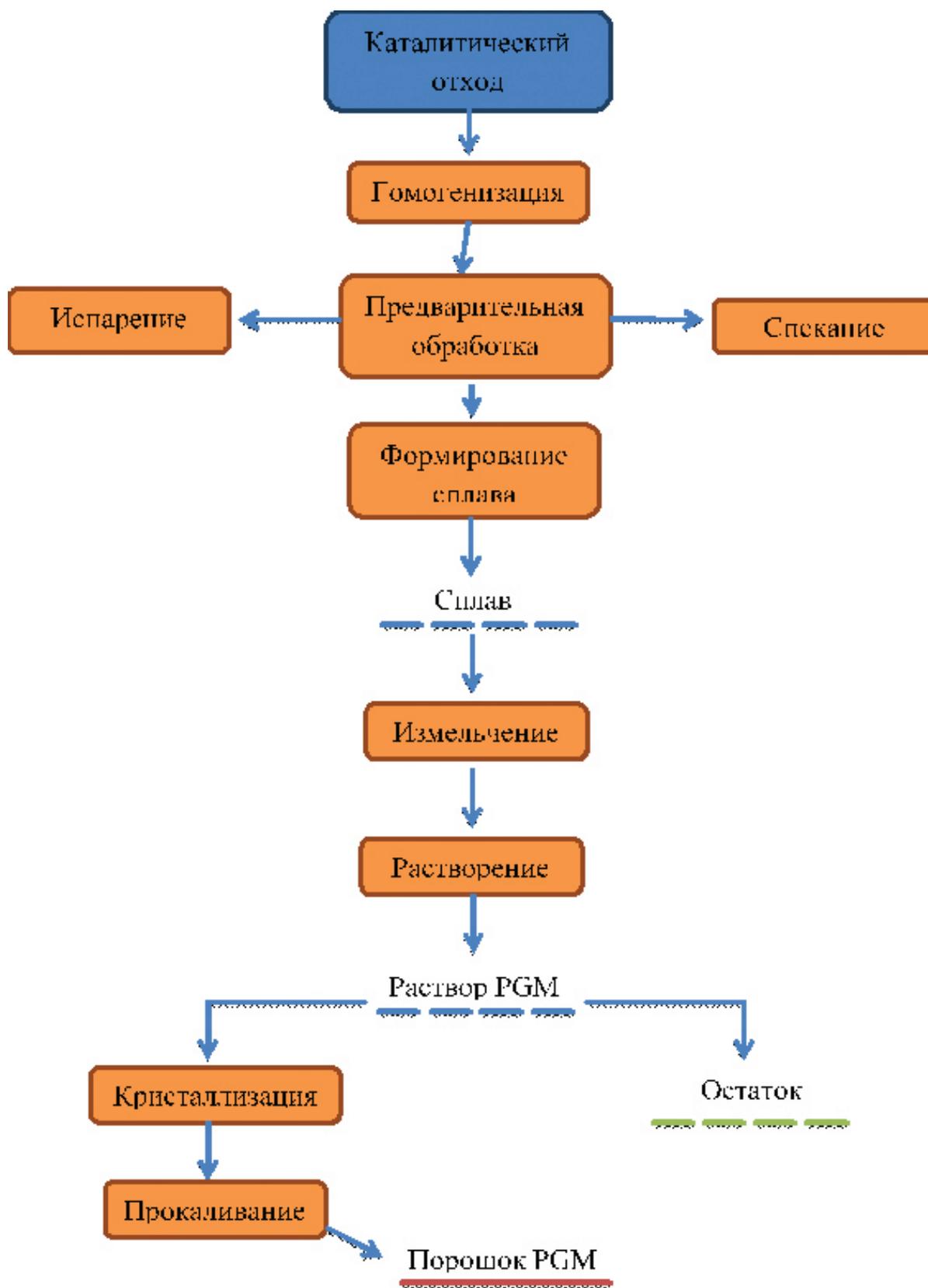


Рисунок 11 – Схема переработки PGM методом пирометаллургии

Они включают в себя процессы плавления и хлорирования. В процессе концентрирования путём плавления катализатор, смешанный с флюсом, вспомогательным металлом и восстановителем, плавится, вследствие чего образуется сплав вспомогательный металл-PGM, далее идёт стадия очистки металлов платиновой группы [140]. При выборе вспомогательного металла взаимная растворимость, точка плавления и химические свойства между вспомогательным металлом и PGM должны быть приняты к сведению. В общем, никель, медь, свинец и железо являются хорошими вспомогательными металлами. Пирометаллургический процесс, включающий в себя дробление, гранулирование, плавку, разделение, является традиционным методом для восстановления PGM из утилизированных катализаторов [138,140].

Метод сбора металлическим свинцом является одним из старейших методов [18]. Он имеет преимущество в виде простоты выполнения, низкой температуры плавления, просто процесса очистки. Однако недостатком является низкий выход родия (70-80%) и выделение вредного для персонала и окружающей среды оксида свинца.

Метод сбора металлической медью [141] подходит для обработки катализатора в электродуговой печи с добавлением флюсов (SiO_2 , CaO), коллектора (CuCO_3 или CuO) и восстановителя. PGM собираются при низкой температуре и слабой восстановительной атмосфере. Сербский Институт Горного Дела и Metallургии [105] использовал данный метод для восстановления металлов платиновой группы. Процесс совмещал в себе пирометаллургическую обработку и электролитический аффинаж и состоял из дробления, измельчения, гомогенизации, гранулирования, сушки, плавления, электролиза и рафинирования. Предварительно просушенные гранулы были погружены в предварительно расплавленный медный раствор, PGM были собраны в медной металлической фазе, и металлическая медь была переработана в анодную пластинку. Анодная пластинка подвергалась электролитическому процессу, окончательный анодный остаток содержал 20-25% металлов платиновой группы.

Хотя с помощью процесса плавки можно эффективно переработать металлы платиновой группы, применение метода пирометаллургии всё равно остаётся ограниченным. Это происходит вследствие того, что процесс испарения увеличивает стоимость из-за коррозии оборудования. В то же время, использование опасных газов монооксида углерода и хлора может привести к загрязнению атмосферы и даже навредить здоровью персонала [100,102,136].

Иные методы переработки катализаторов

В настоящее время разработаны более экономичные и экологичные методы переработки металлов платиновой группы [102,103,142-144].

В одном из таких методов [54] было установлено, что платина растворяется в водных растворах без токсичных химикатов (Рисунок 12).

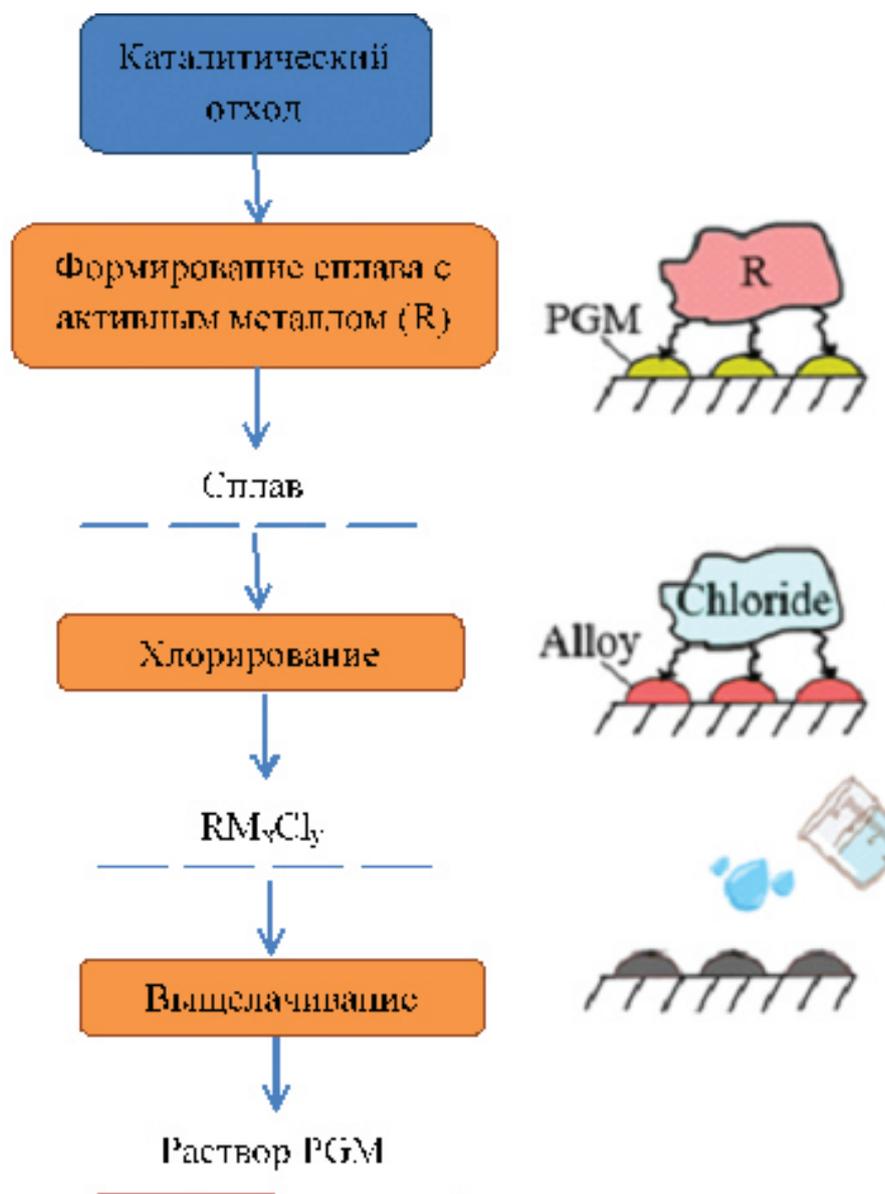


Рисунок 12 – Схема переработки PGM методом [54]

Процесс включает в себя реакцию между металлами платиновой группы и парами Mg с последующим образованием сплавов PGM-Mg. Далее данный сплав подвергается хлорированию при помощи хлоридов металлов (к примеру, хлорида меди). Соединения, содержащие платину, могут быть растворены в растворе HCl без каких-либо окислителей.

Ещё один процесс для переработки PGM [103] включает в себя магнетическое концентрирование металлов платиновой группы прямо из автокатализаторных отходов (Рисунок 13).

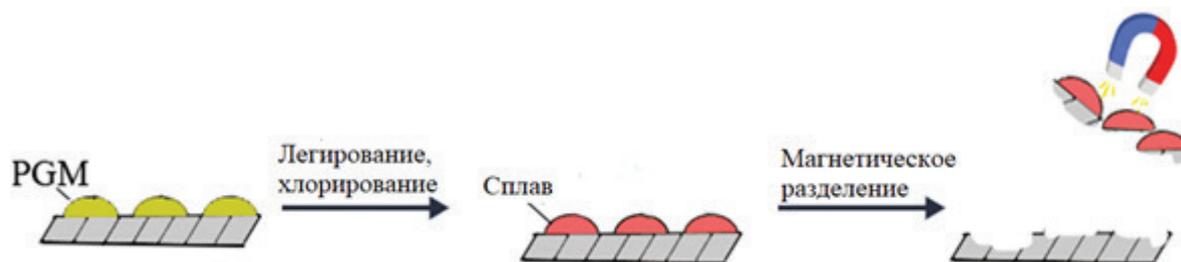


Рисунок 13 – Схема отделения PGM методом магнетического концентрирования

В этом процессе ферромагнитное железо осаждается на PGM частицах при помощи обработки парами хлорида железа через реакцию диспропорционирования:



Таким образом, PGM намагничиваются и далее отделяются от немагнитных материалов, таких как керамическая оболочка автокатализатора [143]. Концентрированные металлы платиновой группы представляют собой большую ценность и имеют намного меньший объём, чем необработанные отходы. Данные процессы могут быть проведены на небольших установках с маленьким затрачиванием энергии и без выделения вредных токсичных веществ [102,103,142,144,145].

Для установления структуры и физико-химических свойств полученных каталитических систем с целью дальнейшего их применения необходимо провести исследование физико-химическими методами.

1.1 Физико-химические методы описания катализаторов

Понятие описания характеристик катализаторов, в основном, подразумевает под собой определение их физических и химических свойств, которые отвечают за их эффективность в каталитических процессах с точки зрения их активности и селективности. Существуют различные аналитические методы, при помощи которых определяются свойства твёрдых катализаторов [146–150].

Рентгенофазовый анализ (РФА)

Рентгенофазовый (XRD) анализ является очень эффективным и важным методом определения кристаллической структуры образцов, в котором когерентно рассеянные рентгеновские лучи интерферируют между собой, при этом дифракционной решеткой для рентгеновского излучения служит кристаллическая решетка, поскольку межплоскостные расстояния в кристалле сравнимы с длиной волны излучения. Он также используется для характеристики объёмных кристаллических структур и фазового состава. Идентификация фаз в неизвестном образце является основным применением классической рентгеновской порошковой дифрактометрии. Материалы могут быть разделены на 2 фазы: кристаллическая фаза и аморфная фаза. Кристаллические структуры состоят из атомов, расположенных в правильной упорядоченной трехмерной структуре, которая называется кристаллической структурой. РФА активно используется в химической, биохимической, физической, материальной и минералогической отраслях [151–153].

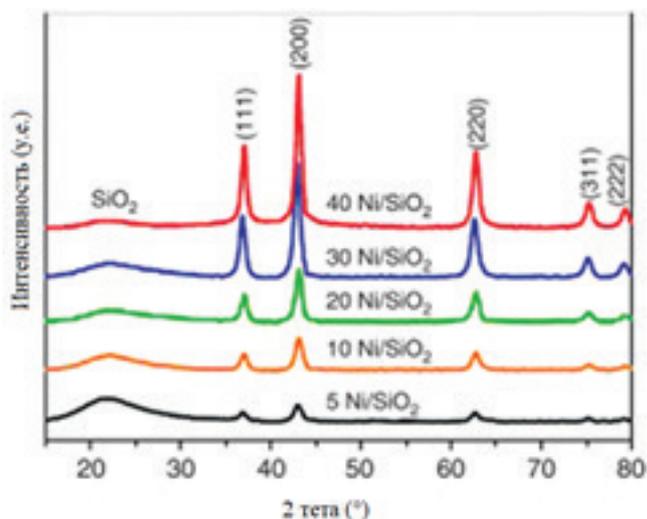


Рисунок 14 – Дифрактограмма Ni/SiO₂ катализатора [154]

В исследовании [155] при помощи физико-химических методов был исследован автокатализатор следующего состава: кордиеритовая оболочка, смешанный оксид Ce-Zr, наночастицы Pd.

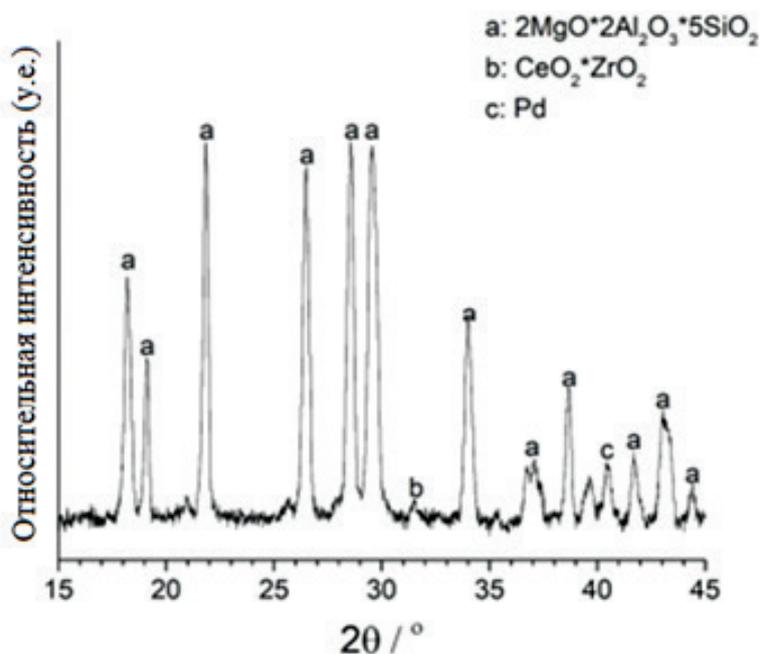


Рисунок 15 – Дифрактограмма утилизированного автокатализатора [155]

Наночастицы можно идентифицировать по их межплоскостному расстоянию, которое зависит от конкретного элемента. Например, расстояние между двумя кристаллографическими плоскостями (111) Pd составляет 2,23 Å, в то время как для (111) Pt оно составляет 2,26 Å. В исследовании наблюдались наночастицы Pd диаметром более 10 нм, в то время как наночастицы Pt неизменно оказывались меньше 5 нм. Отсутствие Pt на дифрактограмме (Рисунок 15) можно объяснить меньшим размером (5 нм против 15 нм) и более низкой концентрацией (0,014% против 0,046%). Хорошо известно, что агломерация наночастиц ускоряется выше их температуры Таммана, которая может быть приближена

к половине точки плавления по шкале абсолютных температур [156]. Температура Тамманна Pt составляет 750 °С, что на 110 °С, чем Pd (640 °С). Автокатализаторы могут достигать 700 °С, что может объяснить больший размер наночастиц Pd.

В исследовании [157] был исследован автокатализатор из ЮАР.

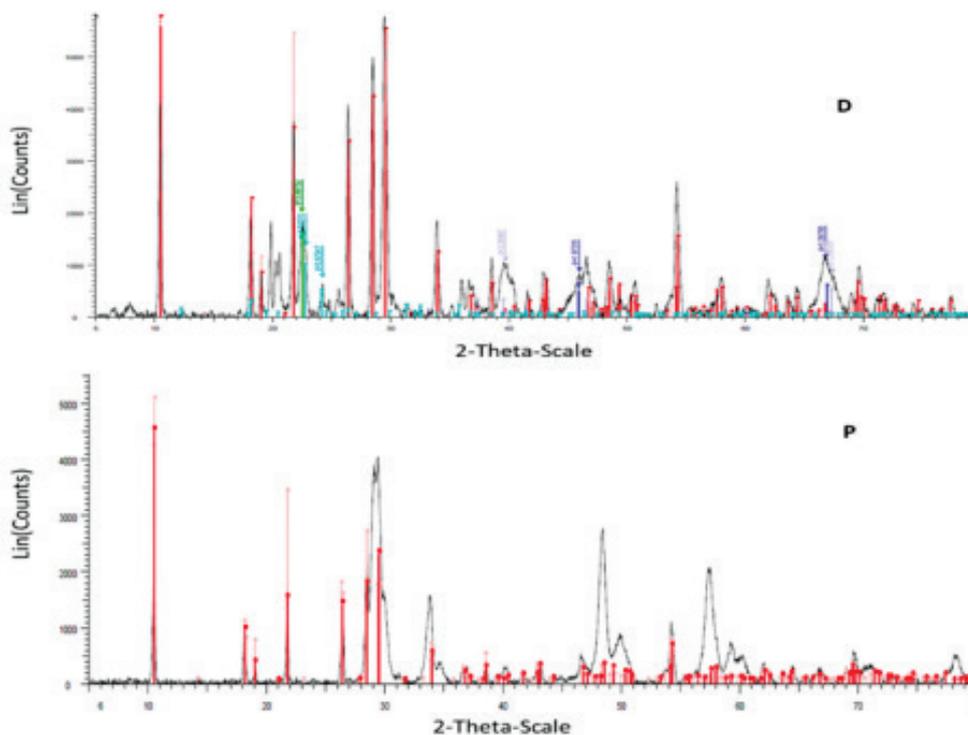


Рисунок 16 – Дифрактограммы утилизированных дизелевого (D) бензинового (P) автокатализаторов, подтверждающие наличие кордиерита [157]

РФА анализ (Рисунок 16) бензинового образца показал 100% характерных отражений кордиерита с орторомбической фазой $Mg_2(Al_4Si_5O_{18})$. Дизельный образец показал наличие кордиеритовой фазы в качестве основного компонента (красный), но с незначительным наличием фаз гидрат фосфата алюминия (бирюзовый), оксида алюминия (синий), гамма-оксида алюминия (светло-голубой), силиката алюминия (зеленый). Фазы PGM были бы слишком малы, чтобы их можно было определить с помощью РФА, так как кордиерит является доминирующей фазой, которая перекрывает бы их.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ)

Морфологический анализ при помощи сканирующей электронной микроскопии предоставляет информацию о физических взаимосвязях размера, кристалличности и наложения фаз, представленных в образцах. СЭМ – эффективный метод изучения морфологии роста кристаллов. В данном методе происходит сканирование поверхности сфокусированным пучком электронов, вследствие чего происходит получение изображения поверхности высокого разрешения при помощи электронного пучка. Вдобавок, контраст изображений позволяет получить информацию о составе поверхности образца, поскольку разные элементы в образце испускают разное количество характерных электронов [146,158,159].

Оптическая система просвечивающего электронного микроскопа аналогична обычному просвечивающему световому микроскопу. Основная информация, которую

можно получить при помощи ПЭМ, это текстура поверхности и морфологические свойства, такие как форма и размер частиц. Для порошковых образцов, таких как катализаторы, размер порошка уменьшается путем измельчения до очень мелкого размера, пока толщина частиц не станет достаточно малой, чтобы обеспечить пропускание электронов. Затем эти мелкие частицы суспендируют в летучем растворителе, таком как изопропанол. Каплю этой суспензии частиц помещают на тонкую углеродную фольгу, поддерживаемую сеткой микроскопа. После испарения растворителей частицы порошка готовы для измерения их размера [146,160,161].

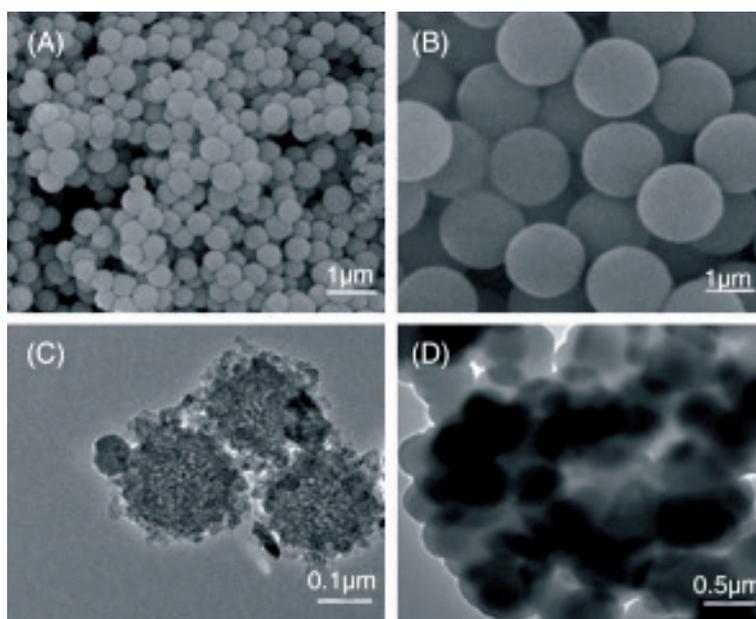


Рисунок 17 – СЭМ и ПЭМ изображения Fe_3O_4 (A,C) и SiO_2 (B,D) [162]

В исследовании [155] рисунок показывает морфологию автокатализатора. Темно-черные сферические частицы нанесены на кордиерит, присутствующий в виде светлого материала (Рисунок 18А). ПЭМ исследование указывает на то, что присутствует 2 различных типа наночастиц (Рисунок 18В и 18С).

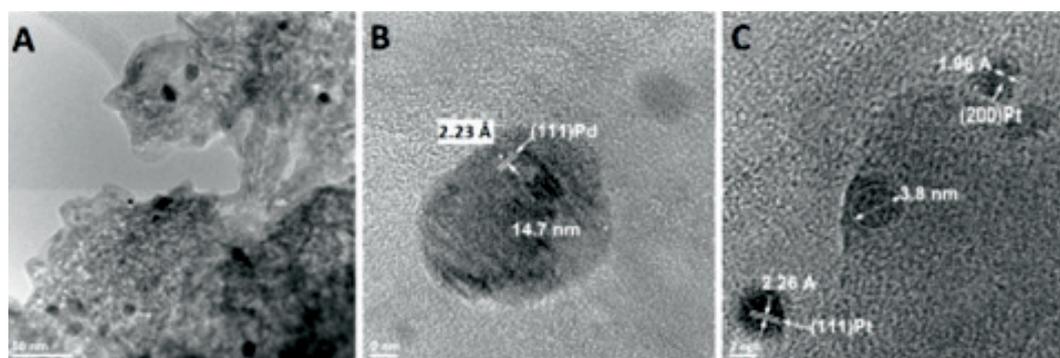


Рисунок 18 – Микроснимки ПЭМ утилизированного автокатализатора [155]

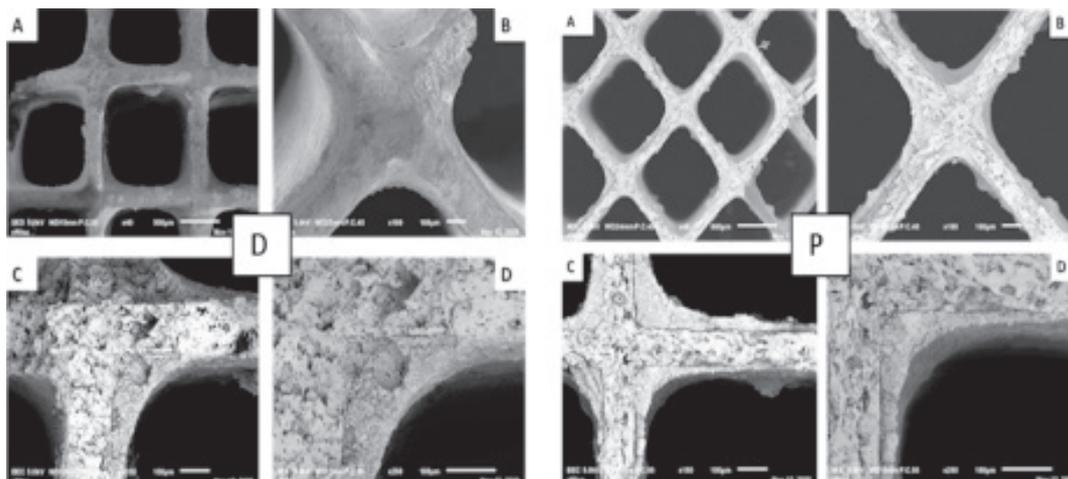


Рисунок 19 – Микроснимки СЭМ утилизированных дизельного (D) и бензинового (P) автокатализаторов при различном увеличении [157]

В исследовании [157] методом СЭМ была изучена морфология обоих автокатализаторов (Рисунок 19). При помощи СЭМ было подтверждено наличие PGM с сотообразной кордиеритовой оболочкой типа $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$. Морфология указывает на единое тело, обладающее множественными параллельными каналами, с каталитически активным материалом, осажденным вдоль стенок каналов [157,163].

Метод Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ) (теория полимолекулярной адсорбции)

БЭТ – важный аналитический метод, который объясняет физическую адсорбцию молекул газа на твердой поверхности и измеряет площадь поверхности и распределение пор по размерам материала. Теория БЭТ применима к системам многослойной адсорбции и обычно использует газы, которые химически не реагируют с поверхностями материалов, в качестве адсорбатов для количественного определения удельной площади поверхности, тогда как стандартный анализ БЭТ чаще всего проводится при температуре кипения N_2 (77 К). Определение площади поверхности и распределения пор катализаторов важно для понимания возможной степени рассеивания активных металлов [146,164].

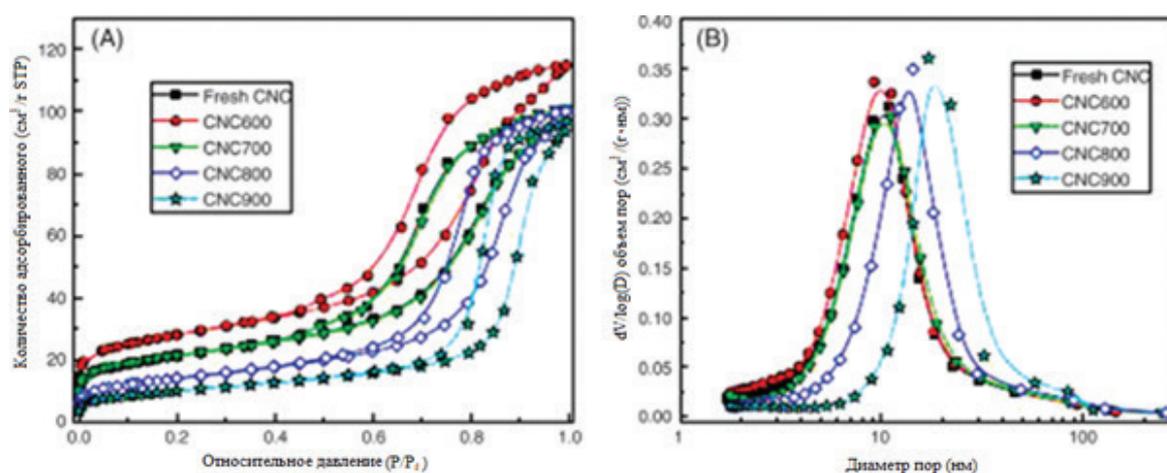


Рисунок 20 – Изотермическая кривая адсорбции-десорбции N_2 (A) и диаграмма распределения пор по размерам (B) катализатора на основе Ni [165]

Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС)

Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS) является одним из основных методов для определения характеристик поверхности, а также используется для понимания химического состава поверхности материала. При помощи РФЭС можно определить элементный состав, эмпирическую формулу, химическое состояние и электронное состояние элементов в материале. Основной механизм, лежащий в основе прибора РФЭС, заключается в том, что фотоны определенной энергии используются для возбуждения электронных состояний атомов на поверхности образца. РФЭС способен обнаруживать разницу в химическом состоянии между образцами [146,166].

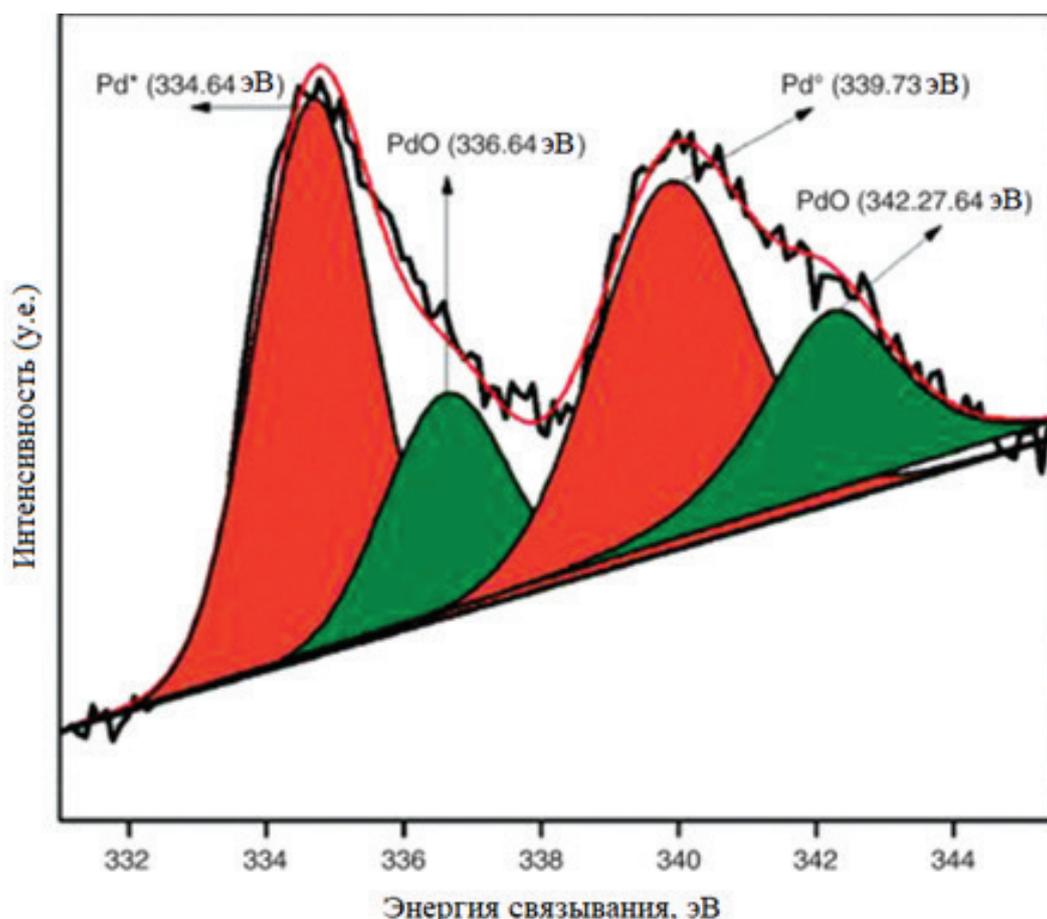


Рисунок 21 – РФЭС спектр Pd/f-SiO₂ катализатора [167]

ИК-Фурье спектроскопия

ИК-Фурье спектры образцов могут быть записаны в условиях окружающей среды с использованием метода KBr или порошкового метода с разрешением 4 см⁻¹ в диапазоне 4000-400 см⁻¹, усредненный по 100/200 сканирований. ИК-Фурье спектроскопия - это колебательная спектроскопия, и она основана на явлении поглощения инфракрасного излучения молекулярными колебаниями, которые определяют молекулярную структуру образцов. Могут быть проанализированы как неорганические, так и органические материалы. Область гетерогенного катализа имеет огромное применение в ИК-спектроскопии, например, для идентификации функциональных групп, изучения молекулярной структуры катализаторов [146,168].

Вывод

В результате изучения материала был сделан ряд выводов. Выяснено, что металлы платиновой группы представляют интерес для различных отраслей промышленности.

Обогащение руд PGM и извлечение из них металлов являются трудоемкими процессами, поэтому существует спрос на разработку и усовершенствование методов получения каталитических систем посредством переработки каталитических отходов, в том числе автокатализаторов.

Существует множество методов переработки автокатализаторов. Самые известные из них - гидрометаллургические и пирометаллургические.

В гидрометаллургическом процессе сначала необходимо провести предварительную обработку каталитических отходов для удаления органических остатков. Pt/ γ -Al₂O₃ и Pd/ γ -Al₂O₃ катализаторы могут быть обработаны посредством растворения в кислоте или щелочи благодаря амфотерным свойствам Al₂O₃. Мелкоизмельченный катализатор растворяется в серной кислоте, таким образом, Pt и Pd концентрируются в выщелоченном остатке. Некоторое количество из растворенных PGM может быть восстановлено процессом цементации используя алюминиевый порошок в качестве восстанавливающего реагента. Метод гидрометаллургии нашёл широкое применение. Тем не менее, низкий процент экстракции (в особенности родия), высокая стоимость реагентов, большое количество токсичных отходов и долгое время выполнения ограничивают дальнейшее его развитие.

Пирометаллургические методы включают в себя процессы плавления и хлорирования. В процессе концентрирования путём плавления катализатор, смешанный с флюсом, вспомогательным металлом и восстановителем, плавится, вследствие чего образуется сплав вспомогательный металл-PGM, далее идёт стадия очистки металлов платиновой группы. Хотя с помощью процесса плавки можно эффективно переработать металлы платиновой группы, применение метода пирометаллургии всё равно остаётся ограниченным. Это происходит вследствие того, что процесс испарения увеличивает стоимость из-за коррозии оборудования. В то же время, использование опасных газов монооксида углерода и хлора может приводить к загрязнению.

Вследствие всего вышесказанного разрабатываются и совершенствуются более универсальные, экологичные и менее энергозатратные методы.

Одним из таких методов является магнетическое концентрирование металлов платиновой группы прямо из автокатализаторных отходов. В этом процессе ферромагнитное железо осаждается на PGM частицах при помощи обработки парами хлорида железа (II). Таким образом, PGM намагничиваются и далее отделяются от немагнитных материалов. Метод является эффективным и перспективным, так как он может быть проведен на небольшой установке с маленьким затрачиванием энергии и без выделения вредных токсичных веществ.

Полученные каталитические системы возможно применить в различных отраслях промышленности, в том числе химической промышленности, энергоотрасли, нефтеотрасли, ювелирном деле и медицине.

Список литературы

- 1 Hughes A.E., Haque N., Northey S.A., Giddey S. Platinum group metals: A review of resources, production and usage with a focus on catalysts // Resources. - 2021. - Vol. 10. № 9. - P. 1–40. <https://doi.org/10.3390/resources10090093>.
- 2 Gervilla F., García-Guinea J., Capitán-Vallvey L.F. Platina in the 18th century: Mineralogy of the crude concentrate used in the first modern attempts at refining platinum // Mineralogical Magazine. - 2020. - Vol. 84. № 2. - P. 289–299. <https://doi.org/10.1180/mgm.2020.3>.
- 3 Обзор рынка металлов платиновой группы. Евразийский Банк Развития, - 2019. - 28 p.

4 Somorjai G.A., Davis S.M. Surface Science Studies of Catalysed Reactions on Platinum Surfaces. // *Platinum Metals Review*. - 1983. - Vol. 27. № 2. - P. 54–65.

5 Rahman M.M., Inaba K., Batnyagt G., Saikawa M., Kato Y., Awata R., Delgertsetsega B., Kaneta Y., Higashi K., Uruga T., Iwasawa Y., Ui K., Takeguchi T. Synthesis of catalysts with fine platinum particles supported by high-surface-area activated carbons and optimization of their catalytic activities for polymer electrolyte fuel cells // *RSC Advances*. Royal Society of Chemistry, - 2021. - Vol. 11. № 33. - P. 20601–20611. <https://doi.org/10.1039/d1ra02156g>.

6 Dey S., Dhal G.C. Property and structure of various platinum catalysts for low-temperature carbon monoxide oxidations // *MATERIALS TODAY CHEMISTRY*. - 2020. - Vol. 16. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2019.100228>.

7 Vershinin N.N., Bakaev V.A., Berestenko V.I., Efimov O.N., Kurkin E.N., Kabachkov E.N. Synthesis and properties of a platinum catalyst supported on plasma chemical silicon carbide // *High Energy Chemistry*. - 2017. - Vol. 51. № 1. - P. 46–50. <https://doi.org/10.1134/S0018143916060199>.

8 Palma V., Ruocco C., Cortese M., Renda S., Meloni E., Festa G., Martino M. Platinum based catalysts in the water gas shift reaction: Recent advances // *Metals*. - 2020. - Vol. 10. № 7. - P. 1–74. <https://doi.org/10.3390/met10070866>.

9 Zhang C., Shen X., Pan Y., Peng Z. A review of Pt-based electrocatalysts for oxygen reduction reaction // *Frontiers in Energy*. - 2017. - Vol. 11. № 3. - P. 268–285. <https://doi.org/10.1007/s11708-017-0466-6>.

10 ElGuindy M. Platinum Group Metals: Alloying, Properties, and Applications // *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. - 2001. - P. 7117–7121. <https://doi.org/10.1016/b0-08-043152-6/01260-2>.

11 Palacios M.A., Gómez M.M., Moldovan M., Morrison G., Rauch S., McLeod C., Ma R., Laserna J., Lucena P., Caroli S., Alimonti A., Petrucci F., Bocca B., Schramel P., Lustig S., Zischka M., Wass U., Stenbom B., Luna M., Saenz J.C., Santamaría J., Torrens J.M. Platinum-group elements: Quantification in collected exhaust fumes and studies of catalyst surfaces // *Science of the Total Environment*. - 2000. - Vol. 257. № 1. - P. 1–15. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00464-2](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00464-2).

12 Golunski S., Rajaram R., Hodge N., Hutchings G.J., Kiely C.J. Low-temperature redox activity in co-precipitated catalysts: A comparison between gold and platinum-group metals // *Catalysis Today*. - 2002. - Vol. 72. № 1–2. - P. 107–113. [https://doi.org/10.1016/S0920-5861\(01\)00484-9](https://doi.org/10.1016/S0920-5861(01)00484-9).

13 Patil B.S., Cherkasov N., Srinath N.V., Lang J., Ibhaddon A.O., Wang Q., Hessel V. The role of heterogeneous catalysts in the plasma-catalytic ammonia synthesis // *Catalysis Today*. Elsevier, - 2021. - Vol. 362, № November 2019. - P. 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2020.06.074>.

14 Li Z.F., Wang Y., Botte G.G. Revisiting the electrochemical oxidation of ammonia on carbon-supported metal nanoparticle catalysts // *Electrochimica Acta*. Elsevier Ltd, - 2017. - Vol. 228. - P. 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.01.020>.

15 Kobayashi K., Atsumi R., Manaka Y., Matsumoto H., Nanba T. Effect of the TiO₂ crystal structure on the activity of TiO₂-supported platinum catalysts for ammonia synthesis: Via the NO-CO-H₂O reaction // *Catalysis Science and Technology*. Royal Society of Chemistry, - 2019. - Vol. 9. № 11. - P. 2898–2905. <https://doi.org/10.1039/c9cy00061e>.

16 Slavinskaya E.M., Kibis L.S., Stonkus O.A., Svintsitskiy D.A., Stadnichenko A.I., Fedorova E.A., Romanenko A. V., Marchuk V., Doronkin D.E., Boronin A.I. The Effects of Platinum Dispersion and Pt State on Catalytic Properties of Pt/Al₂O₃ in NH₃ Oxidation // *ChemCatChem*. - 2021. - Vol. 13. № 1. - P. 313–327. <https://doi.org/10.1002/cctc.202001320>.

17 Karim S., Ting Y.P. Recycling pathways for platinum group metals from spent automotive catalyst: A review on conventional approaches and bio-processes // *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier B.V., - 2021. - Vol. 170. № April. - P. 105588. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105588>.

18 Benson M., Bennett C.R., Harry J.E., Patel M.K., Cross M. The recovery mechanism of platinum group metals from catalytic converters in spent automotive exhaust systems // *Resources, Conservation and Recycling*. - 2000. - Vol. 31. № 1. - P. 1–7. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(00\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(00)00062-8).

19 Stephen A.J., Rees N. V., Mikheenko I., Macaskie L.E. Platinum and palladium bio-synthesized nanoparticles as sustainable fuel cell catalysts // *Frontiers in Energy Research*. - 2019. - Vol. 7. № JUL. - P. 1–13. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2019.00066>.

20 Parrondo J., Han T., Niangar E., Wang C., Dale N., Adjemian K., Ramani V. Platinum supported on titanium-ruthenium oxide is a remarkably stable electrocatalyst for hydrogen fuel cell vehicles // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. - 2014. - Vol. 111. № 1. - P. 45–50. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319663111>.

21 Xue Y., Shi L., Liu X., Fang J., Wang X., Setzler B.P., Zhu W., Yan Y., Zhuang Z. A highly-active, stable and low-cost platinum-free anode catalyst based on RuNi for hydroxide exchange membrane fuel

cells // *Nature Communications*. Springer US, - 2020. - Vol. 11. № 1. - P. 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19413-5>.

22 Daş E., Alkan Gürsel S., Bayrakçeken Yurtcan A. Pt-alloy decorated graphene as an efficient electrocatalyst for PEM fuel cell reactions // *Journal of Supercritical Fluids*. - 2020. - Vol. 165. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.104962>.

23 Matthey J. PGM market report // PGM market report May 2022. - 2022. № May. - P. 1–48.

24 Schubert M.M., Kahlich M.J., Feldmeyer G., Hüttner M., Hackenberg S., Gasteiger H.A., Behm R.J. Bimetallic PtSn catalyst for selective CO oxidation in H₂-rich gases at low temperatures // *Physical Chemistry Chemical Physics*. - 2001. - Vol. 3, № 6. - P. 1123–1131. <https://doi.org/10.1039/b008062o>.

25 Son I.H., Lane A.M., Johnson D.T. The study of the deactivation of water-pretreated Pt/γ-Al₂O₃ for low-temperature selective CO oxidation in hydrogen // *Journal of Power Sources*. - 2003. - Vol. 124. № 2. - P. 415–419. [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(03\)00807-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(03)00807-3).

26 Kareem A., Chand S., Mishra I.M. Disproportionation of Toluene to Produce Benzene and p-Xylene - A Review // *Journal of Scientific and Industrial Research*. - 2001. - Vol. 60. № 4. - P. 319–327.

27 Pujadó P.R., Rabó J.A., Antos G.J., Gembicki S.A. Industrial catalytic applications of molecular sieves // *Catalysis Today*. - 1992. - Vol. 13. № 1. - P. 113–141. [https://doi.org/10.1016/0920-5861\(92\)80191-O](https://doi.org/10.1016/0920-5861(92)80191-O).

28 Guisnet M., Gnep N.S., Morin S. Mechanisms of xylene isomerization over acidic solid catalysts // *Microporous and Mesoporous Materials*. - 2000. - Vol. 35–36. - P. 47–59. [https://doi.org/10.1016/S1387-1811\(99\)00207-3](https://doi.org/10.1016/S1387-1811(99)00207-3).

29 Janssen F.J. Environmental Catalysis - Stationary Sources // *Environmental Catalysis*. - 2008. - P. 119–179. <https://doi.org/10.1002/9783527619412.ch2>.

30 Asakura H., Kirihara M., Fujita K., Hosokawa S., Kikkawa S., Teramura K., Tanaka T. Fe-Modified CuNi Alloy Catalyst as a Nonprecious Metal Catalyst for Three-Way Catalysis // *Industrial and Engineering Chemistry Research*. - 2020. - Vol. 59. № 45. - P. 19907–19917. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c03389>.

31 Hirakawa T., Shimokawa Y., Tokuzumi W., Sato T., Tsushida M., Yoshida H., Ohyama J., Machida M. Multicomponent 3d Transition-Metal Nanoparticles as Catalysts Free of Pd, Pt, or Rh for Automotive Three-Way Catalytic Converters // *ACS Applied Nano Materials*. - 2020. - Vol. 3. № 9. - P. 9097–9107. <https://doi.org/10.1021/acsanm.0c01769>.

32 Waclawek S., Padil V.V.T., Černík M. Major Advances and Challenges in Heterogeneous Catalysis for Environmental Applications: A Review // *Ecological Chemistry and Engineering S*. - 2018. - Vol. 25. № 1. - P. 9–34. <https://doi.org/10.1515/eces-2018-0001>.

33 Gelles T., Krishnamurthy A., Adebayo B., Rownaghi A., Rezaei F. Abatement of gaseous volatile organic compounds: A material perspective // *Catalysis Today*. Elsevier, - 2020. - Vol. 350. № March. - P. 3–18. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2019.06.017>.

34 He C., Cheng J., Zhang X., Douthwaite M., Pattison S., Hao Z. Recent Advances in the Catalytic Oxidation of Volatile Organic Compounds: A Review Based on Pollutant Sorts and Sources: review-article // *Chemical Reviews*. American Chemical Society, - 2019. - Vol. 119. № 7. - P. 4471–4568. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00408>.

35 Chen S., Chen J., Gieleciak R., Fairbridge C. Reactivity characteristics of Pt-encapsulated zeolite catalysts for hydrogenation and hydrodesulfurization // *Applied Catalysis A: General*. Elsevier B.V., - 2012. - Vol. 415–416. - P. 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2011.12.005>.

36 Ahmedzeki N.S., Al-Tabbakh B.A. Catalytic Reforming of Iraqi Naphtha over Pt-Ti / HY Zeolite Catalyst // *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*. - 2016. - Vol. 17. № 3. - P. 45–56.

37 Böck R. Use and demand of palladium for the industry // *Palladium Emissions in the Environment: Analytical Methods, Environmental Assessment and Health Effects*. - 2006. № Gaida 1996. - P. 39–51. https://doi.org/10.1007/3-540-29220-9_3.

38 Ichihashi H., Sato H. The development of new heterogeneous catalytic processes for the production of ε-caprolactam // *Applied Catalysis A: General*. - 2001. - Vol. 221. № 1–2. - P. 359–366. [https://doi.org/10.1016/S0926-860X\(01\)00887-0](https://doi.org/10.1016/S0926-860X(01)00887-0).

39 Monflier E., Bourdauducq P., Couturier J.L., Kervennal J., Mortreux A. Palladium catalyzed telomerization of butadiene with water in a two phase system: drastic effect of the amine structure on the rate and selectivity // *Journal of Molecular Catalysis. A, Chemical*. - 1995. - Vol. 97. № 1. - P. 29–33. [https://doi.org/10.1016/1381-1169\(94\)00072-7](https://doi.org/10.1016/1381-1169(94)00072-7).

40 Neri G., Musolino M.G., Milone C., Pietropaolo D., Galvagno S. Particle size effect in the catalytic hydrogenation of 2,4-dinitrotoluene over Pd/C catalysts // *Applied Catalysis A: General*. - 2001. - Vol. 208. № 1–2. - P. 307–316. [https://doi.org/10.1016/S0926-860X\(00\)00717-1](https://doi.org/10.1016/S0926-860X(00)00717-1).

- 41 Thompson S.T., Papageorgopoulos D. Platinum group metal-free catalysts boost cost competitiveness of fuel cell vehicles // *Nature Catalysis*. Springer US, - 2019. - Vol. 2, № 7. - P. 558–561. <https://doi.org/10.1038/s41929-019-0291-x>.
- 42 Hagen J., Santen V. *Industrial Catalysis: A Practical Approach*. 3rd ed. WILEY-VCH, - 2015. - 628 p.
- 43 Hung C. Catalytic wet oxidation of ammonia solution with platinum-palladium-rhodium composite oxide catalyst CATALYTIC WET OXIDATION OF AMMONIA SOLUTION WITH PLATINUM-PALLADIUM-RHODIUM COMPOSITE OXIDE CATALYST // *J. Environ. Eng. Manage.* - 2008. - Vol. 18, № 2. - P. 85–91.
- 44 Ohkuma T., Ooka H., Ikariya T., Noyori R. Preferential Hydrogenation of Aldehydes and Ketones // *Journal of the American Chemical Society*. - 1995. - Vol. 117, № 41. - P. 10417–10418. <https://doi.org/10.1021/ja00146a041>.
- 45 Hofer R. In Kaisten, syngenta operates the world's largest plant in which an enantioselective catalytic hydrogenation is performed. How did this come about? // *Chimia*. - 2005. - Vol. 59, № 1–2. - P. 10–12. <https://doi.org/10.2533/000942905777677000>.
- 46 Lakshmi Kantam M., Kishore R., Yadav J., Bhargava S.K., Jones L.A., Venugopal A. Hydrogenation for Fine Chemical Synthesis: Status and Future Perspectives // *Industrial Catalytic Processes for Fine and Specialty Chemicals*. Elsevier Inc., - 2016. - 427–462 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801457-8.00010-0>.
- 47 Cowley A., Woodward B. A healthy future: Platinum in medical applications platinum group metals enhance the quality of life of the global population // *Platinum Metals Review*. - 2011. - Vol. 55, № 2. - P. 98–107. <https://doi.org/10.1595/147106711X566816>.
- 48 Rudawska A. Epoxy adhesives // *Handbook of Adhesive Technology, Third Edition*. - 2017. - P. 415–442. <https://doi.org/10.1201/9781315120942>.
- 49 Van Leeuwen P.W.N.M., Clément N.D., Tschan M.J.L. New processes for the selective production of 1-octene // *Coordination Chemistry Reviews*. Elsevier B.V., - 2011. - Vol. 255, № 13–14. - P. 1499–1517. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2010.10.009>.
- 50 Antos G.J., Aitani A.M. *Catalytic Naphtha Reforming*. 1st ed. Marcel Dekker, - 2004. - 595 p.
- 51 Urlukov A.S., Uskov S.I., Sobyenin V.A., Snytnikov P.V., Potemkin D.I. Ethane formation via catalytic low-temperature steam reforming of C₃-alkanes // *Chemical Engineering Journal*. - 2022. - Vol. 446. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.136993>.
- 52 Vasile E., Ciocanea A., Ionescu V., Lepadatu I., Diac C., Stamatin S.N. Making precious metals cheap: A sonoelectrochemical – Hydrodynamic cavitation method to recycle platinum group metals from spent automotive catalysts // *Ultrasonics Sonochemistry*. Elsevier B.V., - 2021. - Vol. 72. - P. 105404. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105404>.
- 53 Jimenez De Aberasturi D., Pinedo R., Ruiz De Larramendi I., Ruiz De Larramendi J.I., Rojo T. Recovery by hydrometallurgical extraction of the platinum-group metals from car catalytic converters // *Minerals Engineering*. Elsevier Ltd, - 2011. - Vol. 24, № 6. - P. 505–513. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.12.009>.
- 54 Horike C., Morita K., Okabe T.H. Effective dissolution of platinum by using chloride salts in recovery process // *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*. - 2012. - Vol. 43, № 6. - P. 1300–1307. <https://doi.org/10.1007/s11663-012-9746-z>.
- 55 Cuif J.P., Blanchard G., Touret O., Seigneurin A., Marczl M., Quéméré E. (Ce, Zr)O₂ solid solutions for three-way catalysts // *SAE Technical Papers*. - 1997. - Vol. 970463, № 412. <https://doi.org/10.4271/970463>.
- 56 Lucena P., Vadillo J.M., Laserna J.J. Mapping of platinum group metals in automotive exhaust three-way catalysts using laser-induced breakdown spectrometry // *Analytical Chemistry*. - 1999. - Vol. 71, № 19. - P. 4385–4391. <https://doi.org/10.1021/ac9902998>.
- 57 Moldovan M., Gómez M.M., Palacios M.A. Determination of platinum, rhodium and palladium in car exhaust fumes // *Journal of analytical atomic spectrometry*. - 1999. - Vol. 14, № 8. - P. 1163–1169. <https://doi.org/10.1039/a901516g>.
- 58 Sahu P., Jena M.S., Mandre N.R., Venugopal R. Platinum Group Elements Mineralogy, Beneficiation, and Extraction Practices—An Overview // *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. Taylor & Francis, - 2021. - Vol. 42, № 8. - P. 521–534. <https://doi.org/10.1080/08827508.2020.1795848>.
- 59 Tatarnikov A. V., Sokolskaya I., Shneerson Y.M., Lapin A.Y., Goncharov P.M. Treatment of platinum flotation products // *Platinum Metals Review*. - 2004. - Vol. 48, № 3. - P. 125–132. <https://doi.org/10.1595/147106704X1667>.
- 60 Xiao Z., Laplante A.R. Characterizing and recovering the platinum group minerals - A review // *Minerals Engineering*. - 2004. - Vol. 17, № 9–10. - P. 961–979. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2004.04.001>.
- 61 Bulatovic S.M. Flotation of Platinum Group Metal Ores // *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice*. - 2010. - P. 19–45. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-53082-0.00018-4>.

- 62 Jena M.S., Mohanty J.K., Sahu P., Venugopal R., Mandre N.R. Characterization and Pre-concentration of Low Grade PGE Ores of Boula Area, Odisha using Gravity Concentration Methods // Transactions of the Indian Institute of Metals. Springer India, - 2017. - Vol. 70, № 2. - P. 287–302. <https://doi.org/10.1007/s12666-016-0998-1>.
- 63 Maksimainen T., Luukkanen S., Mörsky P., Kalapudas R. The effect of grinding environment on flotation of sulphide poor PGE ores // Minerals Engineering. Elsevier Ltd, - 2010. - Vol. 23, № 11–13. - P. 908–914. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.03.001>.
- 64 Moimane T.M., Corin K.C., Wiese J.G. Investigation of the interactive effects of the reagent suite in froth flotation of a Merensky ore // Minerals Engineering. Elsevier Ltd, - 2016. - Vol. 96–97. - P. 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.03.008>.
- 65 Song Z.G., Corin K.C., Wiese J.G., O'Connor C.T. Effect of different grinding media composition on the flotation of a PGM ore // Minerals Engineering. - 2018. - Vol. 124, № May. - P. 74–76. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.05.014>.
- 66 Wiese J., Harris P., Bradshaw D. The effect of the reagent suite on froth stability in laboratory scale batch flotation tests // Minerals Engineering. Elsevier Ltd, - 2011. - Vol. 24, № 9. - P. 995–1003. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.04.011>.
- 67 Grammatikopoulos T.A., Kapsiotis A., Zaccarini F., Tsikouras B., Hatzipanagiotou K., Garuti G. Investigation of platinum-group minerals (PGM) from Pindos chromitites (Greece) using hydroseparation concentrates // Minerals Engineering. - 2007. - Vol. 20, № 12. - P. 1170–1178.
- 68 Cabri L.J., Consulting C. Relationship of mineralogy to the recovery of platinum-group elements from ores. - 1981. - Vol. 23, № January. - P. 233–252.
- 69 Haldar S.K. Mineral exploration principles and applications: Mineral processing // Elsevier. - 2013. - P. 223–250. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416005-7.00001-5>.
- 70 Xiao Z., Laplante A.R., Finch J.A. Quantifying the content of gravity recoverable platinum group minerals in ore samples // Minerals Engineering. Elsevier Ltd, - 2009. - Vol. 22, № 3. - P. 304–310. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2008.08.009>.
- 71 Zhou Z., Zhang D. Heavy mineral separation for platinum group minerals in platinum-bearing chromite deposits // Acta Geologica Sinica. - 1975. - Vol. 2. - P. 187–193.
- 72 Vermaak C.F., Hendriks L.P. A review of the mineralogy of the Merensky Reef, with specific reference to new data on the precious metal mineralogy // Economic Geology. - 1976. - Vol. 71, № 7. - P. 1244–1269. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.71.7.1244>.
- 73 Cole S., Ferron C.J. A review of the beneficiation and extractive metallurgy of the platinum-group elements, highlighting recent process innovations. - 2002. - Vol. 54, № 4. - P. 811–844.
- 74 Knauf V. V., Kozyrev S.M. Knelson's concentrator: Extraction evaluation [Electronic resource]. - 2002.
- 75 Kozlov A.P., Chanturiya V.A. Technology opportunities to develop large-volume platinum ore deposits in dunite of zoned mafic-ultramafic complexes // International Journal of Mineral Processing. Elsevier B.V., - 2014. - Vol. 126. - P. 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2013.11.015>.
- 76 Nel E., Theron J., Martin C., Raabe H. PGM Ore Processing at Impala's UG-2 Concentrator in Rustenburg, South Africa. // Sgs Minerals Services. - 2004. - P. 1–11.
- 77 Kozyrev S.M., Komarova M.Z., Emelina L.N., Olesnkevich O.I., Yakovleva O.A., Lyalinov D. V., Maximov V.I. The mineralogy and behaviour of PGM during processing of the Noril'sk-Talnakh PGE–Cu–Ni ores. - 2002. - Vol. 54. - P. 757–773.
- 78 Shackleton N.J., Malysiak V., O'Connor C.T. Surface characteristics and flotation behaviour of platinum and palladium arsenides // International Journal of Mineral Processing. - 2007. - Vol. 85, № 1–3. - P. 25–40. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2007.08.002>.
- 79 Humphries G., Rule C., Wolmarans E. The Development of a Process Flowsheet for the New Anglo Platinum, Pprust North Concentrator, Incorporating HPGR Technology // Autogenous and Semi-autogenous Grinding Technology Conference. - 2006. - P. 94–109.
- 80 Razin L. V. Geologic and genetic features of forsterite dunites and their platinum-group mineralization // Economic Geology. - 1976. - Vol. 71, № 7. - P. 1371–1376. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.71.7.1371>.
- 81 Begizov V.D., Borisenko L. V., Uskov Y.D. Sulfides and natural solid solutions of platinum metals from the ultra basites of the Gusevogorskiy Pluton // Doklady Akademii nauk SSSR. - 1975. - Vol. 225. - P. 1408–1411.
- 82 Martin C.J., McKay N.A. The role of mineralogical studies in optimizing mineral processing at North American Palladium's Lac Des Iles Mil. - 2003.

- 83 Williamson J.E., Savage J.A. The determination of osmiridium in witwatersrand ores // *Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy*. - 1965. № January. - P. 343–356.
- 84 Feather C.E. Mineralogy of platinum-group minerals in the Witwatersrand, South Africa // *Economic Geology*. - 1976. - Vol. 71, № 7. - P. 1399–1428. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.71.7.1399>.
- 85 Reimer T.O. Platinoids in auriferous proterozoic conglomerates of South Africa, evaluation of existing data // *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*. - 2004. - Vol. 135. - P. 287–314.
- 86 Tang M., Zhang W.B. A study on the recovery of Pt-Pd and MgO from Yunnan Cu-Ni ore in China // *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section C: Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. - 2011. - Vol. 120, № 2. - P. 125–131. <https://doi.org/10.1179/037195510X12772935654783>.
- 87 Jones R. An overview of Southern African PGM smelting // *Nickel and Cobalt 2005: Challenges in Extraction and Production, 44th Annual Conference of Metallurgists, Calgary, Alberta, Canada*. - 2005. № 21-24 August. - P. 147–178.
- 88 Chapman N.A., Shackleton N.J., Malysiak V., O'Connor C.T. The effect of using different comminution procedures on the flotation of Platinum-Group Minerals // *Minerals Engineering*. Elsevier Ltd, - 2011. - Vol. 24, № 8. - P. 731–736. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.01.001>.
- 89 Liu J., Long H., Corin K.C., O'Connor C.T. A study of the effect of grinding environment on the flotation of two copper sulphide ores // *Minerals Engineering*. - 2018. - Vol. 122, № March. - P. 339–345. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.03.031>.
- 90 Zheng Z., Gredan J.E. Rare Earth Elements and Materials // *Encyclopedia of Physical Science and Technology*. - 2003. - Vol. 57. - P. 1–22. <https://doi.org/10.1016/b0-12-227410-5/00653-0>.
- 91 USGS. Platinum Group Metals in August 2022 [Electronic resource] // *Mineral Industry Surveys*. - 2022.
- 92 Mudd G.M., Jowitt S.M., Werner T.T. Global platinum group element resources, reserves and mining – A critical assessment // *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., - 2018. - Vol. 622–623. - P. 614–625. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.350>.
- 93 Hagelüken C. Markets for the catalyst metals platinum, palladium and rhodium // *Metall*. - 2006. - Vol. 60, № 1–2. - P. 31–42.
- 94 Crundwell F.K., Moats M.S., Robinson T.G., Davenport W.G. Extractive metallurgy of copper, nickel, and cobalt // *Journal of the Franklin Institute*. - 2011. - Vol. 272, № 1. - P. 73–74. [https://doi.org/10.1016/0016-0032\(61\)90684-6](https://doi.org/10.1016/0016-0032(61)90684-6).
- 95 Cramer L.A. The extractive metallurgy of South Africa's platinum ores // *Jom*. - 2001. - Vol. 53, № 10. - P. 14–18. <https://doi.org/10.1007/s11837-001-0048-1>.
- 96 Penberthy C.J., Oosthuizen E.J., Merkle R.K.W. The recovery of platinum-group elements from the UG-2 chromitite, Bushveld Complex - A mineralogical perspective // *Mineralogy and Petrology*. - 2000. - Vol. 68, № 1–3. - P. 213–222. <https://doi.org/10.1007/s007100050010>.
- 97 Jha M.K., Lee J.C., Kim M.S., Jeong J., Kim B.S., Kumar V. Hydrometallurgical recovery/recycling of platinum by the leaching of spent catalysts: A review // *Hydrometallurgy*. Elsevier B.V., - 2013. - Vol. 133. - P. 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2012.11.012>.
- 98 Kirk-Othmer. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. 5th ed. / ed. Seymour R.K., O'Farrelly J.I. - 2006. - 890 p.
- 99 Angelidis T.N., Skouraki E. Preliminary studies of platinum dissolution from a spent industrial catalyst // *Applied Catalysis A: General*. - 1996. - Vol. 142, № 2. - P. 387–395. [https://doi.org/10.1016/0926-860X\(96\)00088-9](https://doi.org/10.1016/0926-860X(96)00088-9).
- 100 Nowotny C., Halwachs W., Schügerl K. Recovery of platinum, palladium and rhodium from industrial process leaching solutions by reactive extraction // *Separation and Purification Technology*. - 1997. - Vol. 12, № 2. - P. 135–144. [https://doi.org/10.1016/S1383-5866\(97\)00041-5](https://doi.org/10.1016/S1383-5866(97)00041-5).
- 101 Baghalha M., Khosravian Gh. H., Mortaheb H.R. Kinetics of platinum extraction from spent reforming catalysts in aqua-regia solutions // *Hydrometallurgy*. Elsevier B.V., - 2009. - Vol. 95, № 3–4. - P. 247–253. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2008.06.003>.
- 102 Taninouchi Y.-K., Okabe T.H. Recovery of Platinum Group Metals from Spent Catalysts Using Iron Chloride Vapor Treatment // *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*. - 2018. - Vol. 49, № 4. - P. 1781–1793. <https://doi.org/10.1007/s11663-018-1269-9>.
- 103 Taninouchi Y.-K., Watanabe T., Okabe T.H. Magnetic Concentration of Platinum Group Metals from Catalyst Scraps Using Iron Deposition Pretreatment // *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*. - 2017. - Vol. 48, № 4. - P. 2027–2036. <https://doi.org/10.1007/s11663-017-0999-4>.

- 104 Suzuki S., Ogino M., Matsumoto T. Recovery of Platinum Group Metals at Nippon PGM Co., Ltd. // *Journal of MMIJ*. - 2007. - Vol. 123, № 4. - P. 734–736. <https://doi.org/10.2473/journalofmmij.123.734>.
- 105 Liu C., Sun S., Zhu X., Tu G. Metals smelting-collection method for recycling of platinum group metals from waste catalysts: A mini review // *Waste Management and Research*. - 2021. - Vol. 39, № 1. - P. 43–52. <https://doi.org/10.1177/0734242X20969795>.
- 106 Palacios M.A., Moldovan M., Gómez M.M. The automobile catalyst as an important source of PGE in the environment // *Anthropogenic Platinum-Group Element Emissions*. - 2000. - P. 3–14. https://doi.org/10.1007/978-3-642-59678-0_1.
- 107 Fridell E., Amberntsson A., Olsson L., Grant A.W., Skoglundh M. Platinum oxidation and sulphur deactivation in NO_x storage catalysts // *Topics in Catalysis*. - 2004. - Vol. 30–31, № x. - P. 143–146. <https://doi.org/10.1023/b:toca.0000029742.53316.3c>.
- 108 Cai H., Liu Y.-F., Gong J.-K., E J.-Q., Geng Y.-H., Yu L.-P. Sulfur poisoning mechanism of three way catalytic converter and its grey relational analysis // *Journal of Central South University*. - 2014. - Vol. 21, № 11. - P. 4091–4096. <https://doi.org/10.1007/s11771-014-2402-9>.
- 109 Streber R., Papp C., Lorenz M.P.A., Höfert O., Darlatt E., Bayer A., Denecke R., Steinrück H.-P. SO₂ adsorption and thermal evolution on clean and oxygen precovered Pt(1 1 1) // *Chemical Physics Letters*. - 2010. - Vol. 494, № 4–6. - P. 188–192. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2010.06.007>.
- 110 Cai H., Liu Y. fei, Gong J. ke, E J. qiang, Geng Y. he, Yu L. ping. Sulfur poisoning mechanism of three way catalytic converter and its grey relational analysis // *Journal of Central South University*. - 2014. - Vol. 21, № 11. - P. 4091–4096. <https://doi.org/10.1007/s11771-014-2402-9>.
- 111 Дарибай А. Названо количество автомобилей в Казахстане // *TengriNews*. - 2022. - P. 1.
- 112 Бюро Нацстатистики: половина автопарка Казахстана - старше 20 лет [Electronic resource] // *Forbes*. - 2022. - P. 1.
- 113 Сколько денег получили казахстанцы от утильбора в 2021 году // *Forbes*. - 2021. - P. 1.
- 114 Zhang L., Song Q., Liu Y., Xu Z. Novel approach for recovery of palladium in spent catalyst from automobile by a capture technology of eutectic copper // *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, - 2019. - Vol. 239. - P. 118093. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118093>.
- 115 Lee J.Y., Rajesh Kumar J., Kim J.S., Park H.K., Yoon H.S. Liquid-liquid extraction/separation of platinum(IV) and rhodium(III) from acidic chloride solutions using tri-iso-octylamine // *Journal of Hazardous Materials*. - 2009. - Vol. 168, № 1. - P. 424–429. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.02.056>.
- 116 Leopold K., Denzel A., Gruber A., Malle L. Mobility of traffic-related Pd and Pt species in soils evaluated by sequential extraction // *Environmental Pollution*. Elsevier Ltd, - 2018. - Vol. 242. - P. 1119–1127. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.130>.
- 117 Yamada M., Rajiv Gandhi M., Shibayama A. Rapid and selective recovery of palladium from platinum group metals and base metals using a thioamide-modified calix[4]arene extractant in environmentally friendly hydrocarbon fluids // *Scientific Reports*. - 2018. - Vol. 8, № 1. - P. 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35026-x>.
- 118 Rajiv Gandhi M., Yamada M., Kondo Y., Shibayama A., Hamada F. Selective extraction of Pd(II) ions from automotive catalyst residue in Cl⁻ media by O-thiocarbamoyl-functionalized thiacalix[n]arenes // *Hydrometallurgy*. Elsevier B.V., - 2015. - Vol. 151. - P. 133–140. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2014.11.017>.
- 119 Shin D., Park J., Jeong J., Kim B.S. A biological cyanide production and accumulation system and the recovery of platinum-group metals from spent automotive catalysts by biogenic cyanide // *Hydrometallurgy*. The Authors, - 2015. - Vol. 158. - P. 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2015.09.021>.
- 120 Karim S., Ting Y.P. Ultrasound-assisted nitric acid pretreatment for enhanced biorecovery of platinum group metals from spent automotive catalyst // *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, - 2020. - Vol. 255. - P. 120199. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120199>.
- 121 Jafarifar D., Daryanavard M.R., Sheibani S. Ultra fast microwave-assisted leaching for recovery of platinum from spent catalyst // *Hydrometallurgy*. - 2005. - Vol. 78, № 3–4. - P. 166–171. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2005.02.006>.
- 122 Barakat M.A., Mahmoud M.H.H. Recovery of platinum from spent catalyst // *Hydrometallurgy*. - 2004. - Vol. 72, № 3–4. - P. 179–184. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(03\)00141-5](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(03)00141-5).
- 123 Matjie R.H., Scurrall M.S., Bunt J. The selective dissolution of alumina, cobalt and platinum from a calcined spent catalyst using different lixiviants // *Minerals Engineering*. - 2005. - Vol. 18, № 8. - P. 801–810. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.01.030>.

124 Schreier G., Edtmaier C. Separation of Ir, Pd and Rh from secondary Pt scrap by precipitation and calcination // *Hydrometallurgy*. - 2003. - Vol. 68, № 1–3. - P. 69–75. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(02\)00194-9](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(02)00194-9).

125 Chen S., Shen S., Cheng Y., Wang H., Lv B., Wang F. Effect of O₂, H₂ and CO pretreatments on leaching Rh from spent auto-catalysts with acidic sodium chlorate solution // *Hydrometallurgy*. Elsevier B.V., - 2014. - Vol. 144–145. - P. 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2014.01.018>.

126 Hagelüken C. Recycling of electronic scrap at umicore's integrated metals smelter and refinery // *World of Metallurgy - ERZMETALL*. - 2006. - Vol. 59, № 3. - P. 152–161.

127 Kim M.S., Kim E.Y., Jeong J., Lee J.C., Kim W. Recovery of platinum and palladium from the spent petroleum catalysts by substrate dissolution in sulfuric acid // *Materials Transactions*. - 2010. - Vol. 51, № 10. - P. 1927–1933. <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2010218>.

128 Mishra R.K. PGM RECOVERIES BY ATMOSPHERIC AND AUTOCLAVE LEACHING OF ALUMINA BEAD CATALYST. - 1987. - P. 177–195.

129 Marinho R.S., Silva C.N. da, Afonso J.C., Cunha J.W.S.D. da. Recovery of platinum, tin and indium from spent catalysts in chloride medium using strong basic anion exchange resins // *Journal of Hazardous Materials*. Elsevier B.V., - 2011. - Vol. 192, № 3. - P. 1155–1160. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.06.021>.

130 Sun P.P., Lee M.S. Separation of Pt from hydrochloric acid leaching solution of spent catalysts by solvent extraction and ion exchange // *Hydrometallurgy*. Elsevier B.V., - 2011. - Vol. 110, № 1–4. - P. 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2011.09.002>.

131 De Sá Pinheiro A.A., De Lima T.S., Campos P.C., Afonso J.C. Recovery of platinum from spent catalysts in a fluoride-containing medium // *Hydrometallurgy*. - 2004. - Vol. 74, № 1–2. - P. 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2004.01.001>.

132 Fornalczyk A., Saternus M. Removal of platinum group metals from the used auto catalytic converter // *Metallurgija*. - 2009. - Vol. 48, № 2. - P. 133–136.

133 Lee J.Y., Raju B., Kumar B.N., Kumar J.R., Park H.K., Reddy B.R. Solvent extraction separation and recovery of palladium and platinum from chloride leach liquors of spent automobile catalyst // *Separation and Purification Technology*. Elsevier B.V., - 2010. - Vol. 73, № 2. - P. 213–218. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2010.04.003>.

134 Kirichenko A.S., Seregin A.N., Volkov A.I. Developing a technology for recycling automotive exhaust-gas catalysts // *Metallurgist*. - 2014. - Vol. 58, № 3–4. - P. 250–255. <https://doi.org/10.1007/s11015-014-9897-z>.

135 Marinho R.S., Afonso J.C., da Cunha J.W.S.D. Recovery of platinum from spent catalysts by liquid-liquid extraction in chloride medium // *Journal of Hazardous Materials*. - 2010. - Vol. 179, № 1–3. - P. 488–494. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.03.029>.

136 Dong H., Zhao J., Chen J., Wu Y., Li B. Recovery of platinum group metals from spent catalysts: A review // *International Journal of Mineral Processing*. Elsevier B.V., - 2015. - Vol. 145. - P. 108–113. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2015.06.009>.

137 Peng Z., Li Z., Lin X., Tang H., Ye L., Ma Y., Rao M., Zhang Y., Li G., Jiang T. Pyrometallurgical Recovery of Platinum Group Metals from Spent Catalysts // *Jom*. Springer US, - 2017. - Vol. 69, № 9. - P. 1553–1562. <https://doi.org/10.1007/s11837-017-2450-3>.

138 Fornalczyk A., Saternus M. Vapour treatment method against other pyro- and hydrometallurgical processes applied to recover platinum from used auto catalytic converters // *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*. - 2013. - Vol. 26, № 3. - P. 247–256. <https://doi.org/10.1007/s40195-012-0125-1>.

139 Willner J., Fornalczyk A., Cebulski J., Janiszewski K. Preliminary studies on simultaneous recovery of precious metals from different waste materials by pyrometallurgical method // *Archives of Metallurgy and Materials*. - 2014. - Vol. 59, № 2. - P. 801–804. <https://doi.org/10.2478/amm-2014-0136>.

140 Liu G., Tokumaru A., Owada S. Concentration of PGMs from automobile catalyst by combining surface grinding and quenching // *European Metallurgical Conference, EMC 2013*. - 2013. - P. 235–254.

141 Hoffmann J.E. RECOVERING PLATINUM-GROUP METALS FROM AUTO CATALYSTS. // *Journal of Metals*. - 1988. - Vol. 40, № 6. - P. 40–44.

142 Taninouchi Y.-K., Okabe T.H. Enhanced Dissolution of Platinum Group Metals Using Electroless Iron Deposition Pretreatment // *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*. - 2017. - Vol. 48, № 6. - P. 2866–2872. <https://doi.org/10.1007/s11663-017-1087-5>.

143 Taninouchi Y.-K., Watanabe T., Okabe T.H. Recovery of platinum group metals from spent catalysts using electroless nickel plating and magnetic separation // *Materials Transactions*. - 2017. - Vol. 58, № 3. - P. 410–419. <https://doi.org/10.2320/matertrans.M-M2017801>.

144 Taninouchi Y.-K., Okabe T.H. Effective alloying treatment for platinum using iron chloride vapor // *Materials Transactions*. - 2018. - Vol. 59, № 1. - P. 88–97. <https://doi.org/10.2320/matertrans.M-M2017844>.

- 145 Ho P.H., Shao J., Yao D., Ilmasani R.F., Salam M.A., Creaser D., Olsson L. The effect of Pt/Pd ratio on the oxidation activity and resistance to sulfur poisoning for Pt-Pd/BEA diesel oxidation catalysts with high siliceous content // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. - 2022. - Vol. 10, № 4. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108217>.
- 146 Dumbre D., Choudhary V.R. Properties of functional solid catalysts and their characterization using various analytical techniques // *Advanced Functional Solid Catalysts for Biomass Valorization*. Elsevier Inc., - 2020. - 77–88 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820236-4.00003-9>.
- 147 Peterson E.J. X-Ray Characterization of Platinum Group Metal Catalysts. - 1978. - P. 156.
- 148 Puderbach H., Pulm H., Kintrup L. Analytical methods for the development and monitoring of catalysts // *Fresenius' Zeitschrift für Analytische Chemie*. - 1989. - Vol. 333, № 7. - P. 768. <https://doi.org/10.1007/BF00476626>.
- 149 Landsberg P.T. Surface analysis methods in materials science // *Materials Research Bulletin*. - 1992. - Vol. 27, № 10. - P. 1264. [https://doi.org/10.1016/0025-5408\(92\)90236-s](https://doi.org/10.1016/0025-5408(92)90236-s).
- 150 Leofanti G., Tozzola G., Padovan M., Petrini G., Bordiga S., Zecchina A. Catalyst characterization: Characterization techniques // *Catalysis Today*. - 1997. - Vol. 34, № 3–4. - P. 307–327. [https://doi.org/10.1016/S0920-5861\(96\)00056-9](https://doi.org/10.1016/S0920-5861(96)00056-9).
- 151 Raval N., Maheshwari R., Kalyane D., Youngren-Ortiz S.R., Chougule M.B., Tekade R.K. Importance of physicochemical characterization of nanoparticles in pharmaceutical product development // *Basic Fundamentals of Drug Delivery*. Elsevier Inc., - 2018. - 369–400 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817909-3.00010-8>.
- 152 Rey C., Combes C., Drouet C., Grossin D., Bertrand G., Soulié J. Bioactive calcium phosphate compounds: Physical chemistry // *Comprehensive Biomaterials II*. - 2017. - Vol. 1. - 244–290 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10171-7>.
- 153 Aldea N., Gluhoi A., Marginean P., Cosma C., Yaning X. Extended X-ray absorption fine structure and X-ray diffraction studies on supported nickel catalysts // *Spectrochimica acta, Part B: Atomic spectroscopy*. - 2000. - Vol. 55, № 7. - P. 997–1008. [https://doi.org/10.1016/S0584-8547\(00\)00211-1](https://doi.org/10.1016/S0584-8547(00)00211-1).
- 154 Malleham B., Sudarsanam P., Venkata Shiva Reddy B., Govinda Rao B., Reddy B.M. Nanostructured Nickel/Silica Catalysts for Continuous Flow Conversion of Levulinic Acid to γ -Valerolactone: research-article // *ACS Omega*. American Chemical Society, - 2018. - Vol. 3, № 12. - P. 16839–16849. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b02008>.
- 155 Diac C., Maxim F.I., Tirca R., Ciocanea A., Filip V., Vasile E., Stamatin S.N. Electrochemical recycling of platinum group metals from spent catalytic converters // *Metals*. - 2020. - Vol. 10, № 6. - P. 1–11. <https://doi.org/10.3390/met10060822>.
- 156 Satterfield C.N. Heterogeneous catalysis in practice. 2nd ed. Malabar: Krieger Publishing, - 1996. - Vol. 27, № 2. - 77001 p. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/aic.690270223>.
- 157 Moleko-Boyce P., Makelane H., Tshentu Z.R. Recovery of Platinum Group Metals from Leach Solutions of Spent Catalytic Converters Using Custom-Made Resins // *Minerals*. - 2022. - Vol. 12, № 3. <https://doi.org/10.3390/min12030361>.
- 158 Pearce R.B. Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis // *Geological Magazine*. Cambridge University Press, - 2003. - Vol. 140, № 6. - P. 728–729. <https://doi.org/10.1017/S0016756803238838>.
- 159 Del Angel P., Hernández-Pichardo M.L., González-Huerta R.G., Palacios-González E., Montoya J.A. Selective deposition of gold onto Pt sites in Pt/C catalysts: Electron microscopy and electrochemical characterization // *International Journal of Hydrogen Energy*. - 2013. - Vol. 38, № 28. - P. 12689–12694. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.10.096>.
- 160 Egerton R.F. Physical principles of electron microscopy // *Materials Today*. Springer New York, NY, - 2005. - Vol. 8, № 12. - 49 p. [https://doi.org/10.1016/s1369-7021\(05\)71290-6](https://doi.org/10.1016/s1369-7021(05)71290-6).
- 161 Peng D., Wang Y., Lv L., Zhou Z., Wang Y., Lv A., Lin T.W., Xin Z., Zhang B., Qian X. Insight into degradation mechanism of Pd nanoparticles on NCNTs catalyst for ethanol electrooxidation: A combined identical-location transmission electron microscopy and X-ray photoelectron spectroscopy study // *Chemical Physics*. Elsevier B.V., - 2021. - Vol. 548, № March. - P. 111244. <https://doi.org/10.1016/j.chemphys.2021.111244>.
- 162 Ke P., Zeng D., Wu J., Cui J., Li X., Wang G. Preparation and Characterization of Sulfonated Magnetic SiO₂ Microspheres as the Solid Acid Catalysts for Esterification // *ACS Omega*. - 2019. - Vol. 4, № 26. - P. 22119–22125. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03262>.
- 163 Yakoumis I., Moschovi A., Panou M., Pnias D. Single-Step Hydrometallurgical Method for the Platinum Group Metals Leaching from Commercial Spent Automotive Catalysts // *Journal of Sustainable Metallurgy*. - 2020. - Vol. 6, № 2. - P. 259–268. <https://doi.org/10.1007/s40831-020-00272-9>.

164 Taniike T., Chammingkwan P., Thang V.Q., Funako T., Terano M. Validation of BET specific surface area for heterogeneous Ziegler-Natta catalysts based on α s-plot // *Applied Catalysis A: General*. Elsevier B.V., - 2012. - Vol. 437–438. - P. 24–27. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2012.06.006>.

165 Fu P., Zhang A., Luo S., Yi W., Hu S., Zhang Y. Catalytic Steam Reforming of Biomass-Derived Acetic Acid over Two Supported Ni Catalysts for Hydrogen-Rich Syngas Production // *ACS Omega*. - 2019. - Vol. 4, № 8. - P. 13585–13593. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b01985>.

166 Siegbahn K. Electron spectroscopy for atoms, molecules and condensed matter - an overview // *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*. - 1985. - Vol. 36, № 2. - P. 113–129. [https://doi.org/10.1016/0368-2048\(85\)80013-X](https://doi.org/10.1016/0368-2048(85)80013-X).

167 Date N.S., Kondawar S.E., Chikate R.C., Rode C. V. Single-Pot Reductive Rearrangement of Furfural to Cyclopentanone over Silica-Supported Pd Catalysts // *ACS Omega*. - 2018. - Vol. 3, № 8. - P. 9860–9871. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b00980>.

168 Bernal H.G., Galletti A.M.R., Garbarino G., Busca G., Finocchio E. NbP catalyst for furfural production: FT IR studies of surface properties // *Applied Catalysis A: General*. Elsevier B.V., - 2015. - Vol. 502. - P. 388–398. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2015.06.031>.

M. Kulikov¹, E. Kopishev*

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

Review: Extraction of platinum group metals from catalytic converters

Abstract. Platinum group metals (PGM) are widely used in catalytic industry due to their outstanding physical and chemical properties (high-temperature stability, high catalyst activity, high heat resistance, high corrosion resistances). They are used in medical fields, electronics, oil refining, production of ammonia, fuel cells, automotive industry. Catalytic wastes are an important secondary source of metals because recycling of wastes is more economical and ecological way of metals obtaining compared to mining from ores. Spent automotive catalyst is a rich source of platinum group metals [PGM: platinum (Pt), palladium (Pd), and rhodium (Rh)] which contains higher concentrations of PGM than found in natural ores. This review presents the analysis of the recovery methods of platinum group metals from spent catalysts and their advantages and disadvantages. As a result, all methods were analyzed and the most promising (most environmentally friendly and economical) was pointed out.

Keywords: platinum group metal (PGM), catalytic converter, spent catalysts, recovery, pyro/hydrometallurgy, magnetic separation.

М. Куликов, Э. Копишев

Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан

Шолу: Катализдік түрлендіргіштерден платина тобындағы металдарды бөліп алу

Аңдатпа. Платина тобындағы металдар (ПТМ) өздерінің тамаша физикалық және химиялық қасиеттеріне (жоғары температура тұрақтылығы, жоғары катализдік белсенділік, жоғары температураға төзімділік, жоғары коррозияға төзімділік) байланысты каталитикалық өнеркәсіпте кеңінен қолданылады. Олар медицинада, электроникада, мұнай өңдеуде, аммиак өндірісінде, отын элементтерінде, автомобиль өнеркәсібінде қолданылады. Катализдік қалдықтар металдардың маңызды қайталама көзі болып табылады, өйткені қалдықтарды өңдеу кендерден өндірумен салыстырғанда металдарды алудың үнемді және экологиялық таза тәсілі болып табылады. Қолданылған автомобиль катализаторы табиғи кендерге қарағанда ПТМ-ның концентрациясы жоғарырақ болатын платина тобындағы металдардың [ПТМ: платина (Pt), палладий (Pd) және родий (Rh)] бай көзі болып табылады. Шолуда пайдаланылған катализаторлардан платина тобындағы металдарды алу әдістерінің талдауы, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері берілген. Нәтижесінде барлық әдістер талданып, ең перспективалылары (ең экологиялық таза және үнемді) анықталды.

Түйін сөздер: платина тобының металы (ПТМ), катализдік түрлендіргіш, пайдаланылған катализаторлар, бөліп алу, пиро/гидрометаллургия, магниттік сепарация.

Сведения об авторах:

Kulikov M. – Master Student, Department of Chemistry, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2, Satpayev Str., Astana, Kazakhstan

Kopishev E. – PhD in chemistry, Head of Department of Chemistry, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2, Satpayev Str., Astana, Kazakhstan

Куликов М. – магистр, кафедра химии, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан

Копишев Э. – PhD, зав. кафедрой химии, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан



МРНТИ 87.03.13

¹Н.В. Гагина, ²А.Е. Яротов, ³Е.И. Галай

Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь
(E-mail: ¹nata-gagina@yandex.by, ²Yarotau@gmail.com)
Автор для корреспонденции: ³Galai@mail.ru

Территориальная организация экотуризма в парадигме устойчивого развития (на примере Ивановского района)

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы оптимизации территориальной организации туризма на основе принципов устойчивого развития, учета внутрирегиональных особенностей размещения объектов природного и историко-культурного наследия, развитости туристической инфраструктуры и экономической активности местных сообществ. Объектом исследования выбрана территория Ивановского района, отличительной особенностью которой является наличие значительного природного и историко-культурного потенциалов для развития экологического, культурного и других содружественных видов туризма. Выполнено туристическое зонирование района с определением специализации и опорных туристических центров каждой зоны.

Ключевые слова. Устойчивый туризм, природный потенциал, историко-культурное наследие, туристическая инфраструктура, территориальная организация.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2023-142-1-72-82>

Введение

Туризм, как сложно организованная сфера деятельности, имеет множество оснований деления, положенных в основу классификаций: по региону пребывания, числу участников, возрастным группам, способу организации, способам передвижения, продолжительности пребывания, цели посещения.

Наиболее активно в Республике Беларусь развиваются следующие виды туризма: историко-культурный, ностальгический, религиозный, событийный, гастрономический, промышленный, археологический, агроэкотуризм, экологический, орнитологический, охотничий, лечебно-оздоровительный, медицинский, спортивный, деловой.

Развитие туризма должно базироваться на гармоничном сочетании использования природно-ресурсного потенциала, культурно-исторического наследия, экономического развития того или иного региона. Согласно цели устойчивого развития ООН «Содействие поступательному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех» устойчивый туризм, наряду с зеленой экономикой, занятостью и социальной защитой, относится к одному из путей

ее достижения [1]. Департамент по экономическим и социальным вопросам ООН акцентирует внимание на то, что устойчивый туризм может включать разнообразные формы и виды туризма, организация которых «способствуют повышению уровня экологической грамотности, сохранению и защите окружающей среды, дикой природы, флоры, биологического разнообразия, экосистем и культурного разнообразия и ведут к повышению благосостояния и созданию источников

дохода в местных общинах, оказывая поддержку местной экономике, а также к улучшению среды обитания человека и естественной среды в целом» и рекомендует «поощрять инвестиции в устойчивый

туризм, включая экотуризм и культурный туризм» [2].

В научной литературе проблематика устойчивого туризма получила широкое освещение. Методологические основы развития туризма на принципах устойчивого развития рассмотрены в работах [3, 4, 5]. Практические аспекты устойчивого туризма на региональном и локальном уровнях получили освещение в работах [6, 7]. Эти вопросы затронуты в научных публикациях при обосновании организации зеленых маршрутов [8], развитии экотуризма в границах особо охраняемых природных территорий, в первую очередь национальных парков и крупных природных заказников [9], формировании по инициативе местных сообществ туристических дестинаций и регионов [10, 11, 12].

В парадигме устойчивого развития организация всего многообразия видов туристической деятельности должна опираться на приоритетность вопросов сохранения природного и историко-культурного наследия, использования местных ресурсов, возрождения народных ремесел и промыслов, уважения местных традиций, активизацию экономической жизни местных сообществ.

Для устойчивого туризма в регионе необходимо как комплексное, так и специализированное освоение туристско-рекреационного потенциала. Комплексное освоение потенциала предполагает рациональное использование природных и историко-культурных ресурсов, развитие сферы услуг, инфраструктуры, информационного и кадрового обеспечения, производство турпродукта местным населением. При этом следует учитывать функциональные и пространственные различия в реализации этого потенциала, что может быть выражено через разработку схем территориальной организации с выделением зон специализации каждого туристско-рекреационного микрорайона.

Материалы и методы исследования

В качестве модельного объекта территориальной организации туризма, основанной на принципах устойчивого развития, выбран Ивановский район, отличительной особенностью которого является наличие природного и историко-культурного потенциалов для развития и экологического, и культурного туризма.

Отличительные природные и этнокультурные особенности этого района определяются тем, что здесь проходит граница между обширными заболоченными низинами Припятского Полесья и хорошо дренированной равниной Загородья, являющейся восточной окраиной Брестского Полесья [13] (рисунок 1).

Еще в XIX веке П.П.Семенов-Тянь-Шанский описывал территорию Загородья как «пространство более возвышенное, сухое и заселенное» [14, с. 341]. В историко-этнокультурном плане изучаемая территория относится к региону Западного Полесья, для которого характерно сохранение многовековых устойчивых традиций проживающего здесь населения.



Рисунок 1. Местоположение Ивановского района в границах Полесского региона

Ивановский район входит в состав Пинского туристического района Брестской области, современный функциональный профиль которого определен как соответствующий экскурсионному и оздоровительному направлениям туризма. В этой связи была поставлена задача выполнить анализ

туристического развития района в соответствии с его природными и историко-культурными особенностями и на этом основании предложить схему территориальной организации туризма.

Исходными материалами послужили Стратегия устойчивого развития Ивановского района на 2018-2030 годы, Местная Повестка устойчивого развития Мотольского сельского исполкома, программа социально-экономического развития Ивановского района, информационные ресурсы официального сайта Ивановского районного исполнительного комитета, фондовые материалы «Зеленого маршрута «Яновское кольцо» и туристической дестинации «Мотольский шлях» [15, 10].

Исследование опиралось на ландшафтный подход, также применялись традиционные и новые методы: историко-литературный, сравнительно-географический, цифрового картографирования, географического зонирования.

Результаты исследования и их обсуждение

Природный потенциал Ивановского района включает ландшафтные ресурсы водно-болотных угодий, лесов, водных объектов, представляющие интерес для познавательного, рекреационного, событийного, спортивного направлений экологического туризма.

Развитие экотуризма обусловлено сохранившимися в естественном состоянии участками озерно-болотных ландшафтов и плоской заболоченной поймы реки Ясельда [16]. Эти природные комплексы являются крупнейшими в Европе массивами низинных пойменных болот, которые сохранились в границах республиканского биологического заказника «Споровский». Основная часть заказника относится к Березовскому району и лишь небольшой участок, – к Ивановскому, занимая его северо-западную часть. Заказник имеет международный статус водно-болотных угодий и территории важной для птиц [17]. Здесь организовано наблюдение за видами растительного и животного мира в естественной среде обитания, включая популяцию вертялкой камышевки, относящейся к глобально угрожаемому виду, оборудована экотропа «По следам вертялкой камышевки». Ежегодно заказник проводит уникальный фестиваль событийного экотуризма «Споровские сенокосы», который направлен на предотвращение закустаривания низинных пойменных болот и поддержку их биоразнообразия. Еще одним значимым мероприятием является фестиваль водного туризма «Мотольская регата», в рамках которого его участники проходят 60 км на байдарках по реке Ясельда от деревни Высокое Березовского района до агрогородка Мотоль Ивановского района.

Для развития рекреационного направления экотуризма, а также лечебно-оздоровительного туризма благоприятны условия холмисто-грядово-бугристых аллювиальных террасированных ландшафтов с сосновыми, широколиственно-сосновыми лесами, чередующиеся с котловинами озер и небольшими участками болот, которые находятся в юго-восточной части района. Наиболее крупные лесные массивы здесь сохранились в районе озера Завищанское.

Район богат водными ресурсами, на севере расположена долина реки Ясельды, перспективная для развития водного туризма, на юге – верховья реки Пины. Проходящий по территории района Днепровско-Бугский канал соединяет реки Пина и Мухавец, пребывание на канале регламентировано и, в настоящее время, он не может рассматриваться как объект туристического показа. В северной части района расположены озера Мульное и Мотольское, на юге – Завищанское, Окунино, Белое, Песчаное. Озера Завищанское, Окунино, Мульное пригодны для рекреации и рыболовства, озера Белое, Песчаное, Мотольское – для рыболовства [18].

Так как природный потенциал Ивановского района недостаточно велик, чтобы приоритетно развивать экотуризм, основанный на использовании только одного вида природных ресурсов, наиболее перспективным является комплексное использование ресурсов в системе «лес-озеро», «лес-речная долина», «водно-болотные угодья».

Объекты историко-культурного наследия Ивановского района в основном сконцентрированы в пространстве между агрогородком Мотоль и г. Иваново. В природном отношении эта территория представлена холмисто-волнистыми моренно-зандровыми ландшафтами с участками сосновых и широколиственно-сосновых лесов и сельскохозяйственных земель. Южнее от г. Иваново до долины реки Пина встречаются волнистые водно-ледниковые ландшафты с камнями и эловыми холмами. Участки, занятые здесь естественной растительностью, также представлены сосновыми и широколиственно-сосновыми лесами. Это наиболее освоенные территории, в пределах которых расположены основные объекты историко-культурного наследия (рисунок 2).

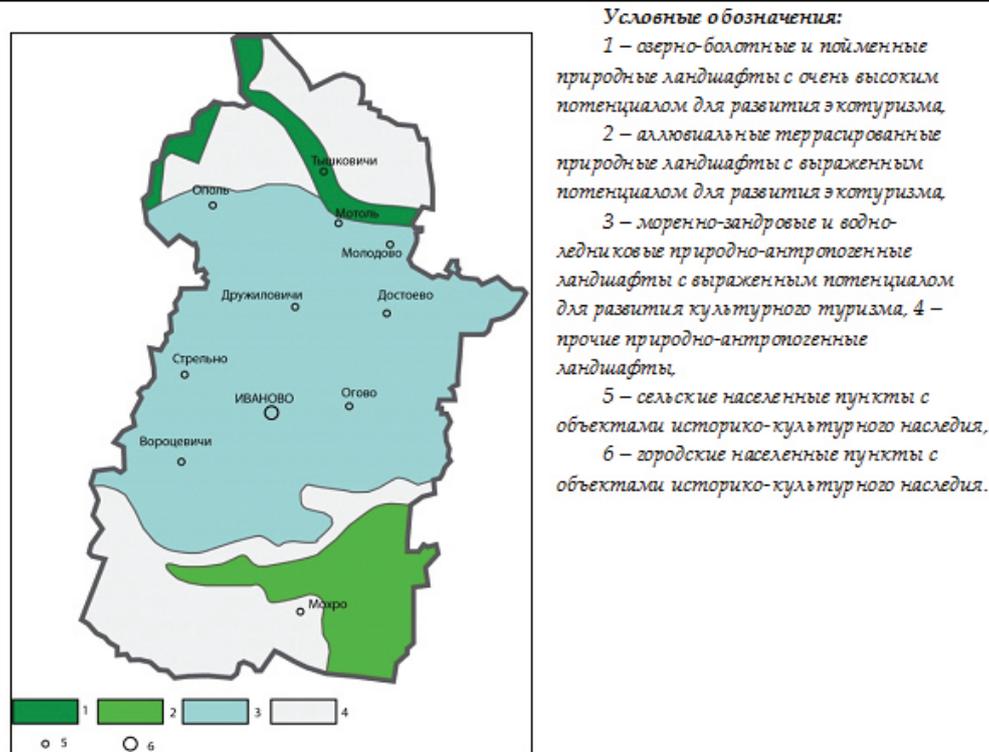


Рисунок 2. Объекты историко-культурного и природного наследия в границах ландшафтов Ивановского района

Объекты археологии представлены селищами эпохи неолита, бронзового и железного века (агрородок Мотоль, деревня Тышковичи, агрородок Ополь). Здесь встречается классическая полесская деревенско-местечковая застройка с традиционной организацией жилой среды и местными локальными особенностями, например, каплицами, храмами, в том числе деревянными церквями XVIII–XIX вв. (агрородки: Молодово, Ополь, Дружиловичи; деревня Мохро) [15].

Особым историко-культурным объектом и явлением этнокультурных традиций местного населения является Мотольский музей народного творчества, в котором к услугам посетителей экспозиционные залы археологии, истории, земледелия, льнообработки, ремесел, ткачества, одежды, обрядов, народных традиций.

К уникальным объектам местной культуры относится музей традиционной культуры «Дом травника» в деревне Стрельно, где большая часть экспонатов представлена лекарственными травами.

На территории района сохранены народные традиции изготовления предметов местной культуры: сундуков в агрородке Огово, кожухов, полотенец из домотканого холста (рушников) в агрородке Мотоль, бондарных изделий в г. Иваново, где действует единственная в стране школа бондарства.

Проявлением местных традиций является проведение в агрородке Мотоль гастрономического фестиваля «Мотальскія прысмакі», который ежегодно собирает несколько тысяч человек. Это мероприятие событийного туризма имеет международное значение, в разные годы фестиваль посещали туристы из стран Европы, США, Израиля, России.

К объектам нематериального наследия относится проведение этнографического фестиваля «Фольклор без границ» в деревне Тышковичи.

Важнейшей составляющей культурного потенциала, имеющего национальное и международное значение, являются объекты показа, связанные с жизнью выдающихся людей. В деревне Вороцевичи расположена картинная галерея районного музейного комплекса Наполеона Орды, а в г. Иваново находится единственный в Европе памятник художнику. В агрородке Достоево создан народный литературно-краеведческий музей им. Ф.М.Достоевского. Целесообразным представляется создание музея еврейской культуры в агрородке Мотоль, который известен как родина первого президента государства Израиль Хаима Вейцмана.

В деревне Мохро открыта картинная галерея известного белорусского художника А. Кузьмича, создан народный историко-краеведческий музей.

К объектам всемирного наследия ЮНЕСКО относятся три восстановленных геодезических пункта дуги Струве – уникального памятника науки XIX века. Около деревни Лясковичи, Осовница, Чекутск установлены соответствующие памятные знаки.

Объекты культурного материального и нематериального наследия этой части Загородья сконцентрированы в г. Иваново, агрородках: Мотоль, Молодово, Ополь, Достоево, Огово; деревнях: Стрельно, Вороцевичи, Мохро. Их ресурсная база служит основой для формирования центров культурного туризма различной специализации – этнографического, гастрономического, историко-культурного, археологического, событийного.

Относительно новым направлением устойчивого туризма является агроэкотуризм, который в стране получил развитие на базе агроусадеб и крестьянских фермерских хозяйств. Среди видов досуга в сельской местности популярен отдых на природе, а также баня, рыбалка, знакомство с местными достопримечательностями, традициями, сельским бытом, промыслами, наблюдение и уход за животными, организация активных прогулок на велосипедах, лодках. В 2022 году услуги туризма оказывали 12 агроусадеб, расположенных по всей территории района: в г. Иваново, агрородках: Мотоль, Огово, Снитово, Ячковичи, в деревнях Тышковичи, Вороцевичи, Завышье, Хомичево, Одрижин.

Лечебно-оздоровительный туризм связан с оказанием услуг санаторием в деревне Завышье, рассчитанном на 264 койко-места. Санаторий выступает в качестве вторичного центра формирования туристского спроса, его отдыхающие являются потенциальными потребителями турпродуктов в рамках районных экскурсионных маршрутов.

Для устойчивого развития туризма в районе поддерживаются инициативы по оказанию туристических услуг с опорой на местные ресурсы. В настоящее время на постоянной основе туристические услуги оказывают Мотольский музей народного творчества, районный музейный комплекс имени Наполеона Орды, филиал традиционной культуры «Дом травника» Мотольского музея народного творчества, туристско-информационный центр, созданный на базе Ивановского районного физкультурно-спортивного клуба. В задачи туристско-информационного центра входит разработка и продвижения туристических маршрутов, организация экскурсий. Специалистами центра разработаны 8 основных туристических маршрутов, различных по тематике, протяженности и видам передвижения. Сегодня к наиболее популярным направлениям, продвигаемым центром, относятся экскурсии в музей и на фестивальные площадки агрогодка Мотоль, в народный литературно-краеведческий музей агрогородка Достоево, музей народной медицины в деревне Стрельно, районный музейный комплекс Наполеона Орды в деревне Вороцевичи, на пункты геодезической дуги Струве.

Устойчивое развитие туризма должно быть обеспечено необходимой инфраструктурой, в первую очередь объектами питания, размещения, иметь хорошую транспортную доступность.

Ивановский район обладает хорошо развитой дорожной сетью, представленной автомагистралями международного значения, республиканского и местного сообщения. Система автомобильных дорог местного значения и отчасти республиканского может рассматриваться как основа для разработки веломаршрутов, набирающих все большую популярность в стране.

Сдерживающим фактором развития туризма в районе является неразвитость средств размещения и питания туристов. Сектор размещения туристов за последние 5 лет сократился и в настоящее время его услуги предоставляет Ивановский районный центр детско-юношеского туризма и краеведения и гостиница в агрогородке Мотоль, а также агроусадьбы района. Отсутствие гарантированных возможностей организации ночлега формирует структуру туристических потоков в виде однодневных экскурсий, что, в свою очередь, ограничивает возможности предпринимательской активности местного населения.

Проблемным остается и сектор общественного питания, большинство таких объектов сконцентрированы в г. Иваново, помимо этого кафе открыты в агрогородках Мотоль, Достоево, Горбаха, деревне Лясковичи. Некоторые агроусадьбы предлагают организовать услуги питания при их посещении экскурсантами, в районе имеется ряд объектов придорожного сервиса.

Неразвитость предложения услуг размещения и питания существенно снижает экономический эффект от развития туризма в районе.

Неоднородность локализации природного и историко-культурного потенциала, туристической инфраструктуры и субъектов, оказывающих туристические услуги, определяют различия территориальной организации туризма в Ивановском районе, которые проявляются в формировании пространственных зон со своей специализацией, центрами, ландшафтно-маршрутными осями развития (рисунок 3).

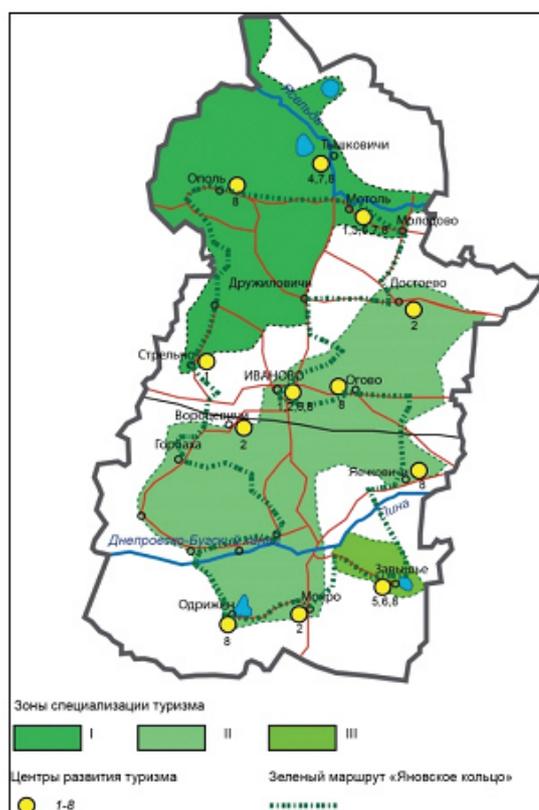
Северо-западная зона, сформировавшаяся по линии агрогородок Молодово – агрогородок Мотоль – агрогородок Ополь – деревня Стрельно выделяется специализацией познавательного этнографического туризма в сочетании с событийным фестивальным туризмом, экологическим водным и велотуризмом, агроэкотуризмом.

Познавательный туризм представлен этнографическим направлением, центром формирования которого выступает музей народного творчества в деревне Мотоль и

филиал музея традиционной культуры «Дом травника» в деревне Стрельно. Развитие гастрономического туризма связано с кухней на базе местных продуктов, такие услуги предоставляют агроусадьба «Мотольская венеция», кафе в агрогородке Мотоль. Гастрономический туризм поддерживается ежегодным кулинарно-этнографическим фестивалем «Мотальскія прысмакі», ежегодно организуемым в августе месяце. Этнографический туризм нематериального наследия развивает агроусадьба «Домик на окраине» в деревне Тышковичи, проводя местный фестиваль «Фольклор без границ» в зимний период.

Экотуризм имеет перспективы развития по ландшафтно-маршрутной оси водного туризма, проходящей от озера Споровское (Березовский район) по долине реки Ясельды до озера Мотольское и далее по реке до границы района. Локальные веломаршруты, имеющие радиальную или кольцевую формы, могут быть проложены по дорогам местного значения, перспективным центром развития велотуризма выступает агрогородок Мотоль, где имеется соответствующая инфраструктура для проживания велотуристов.

Агроэкотуризм представлен услугами агроусадоб, в которых сформировались два направления: с элементами этнографического туризма (деревня Тышковичи», агрогородок Ополь), а также с рекреационным направлением (агрогородок Мотоль).



Условные обозначения:

I – зона познавательного этнографического туризма в сочетании с событийным фестивальным, экологическим, агроэкологическим,

II – зона познавательного историко-культурного туризма в сочетании с агроэкотуризмом, экотуризмом,

III – зона лечебно-оздоровительного туризма в сочетании с агроэкотуризмом, экотуризмом;

познавательный туризм:

1 – этнографический,

2 – историко-культурный, связанный с жизнью выдающихся людей; событийный туризм

3 – фестивальный гастрономический,

4 – фестивальный фольклорный;

5 – лечебно-оздоровительный туризм;

экологический туризм:

6 – велотуризм,

7 – водный туризм;

8 – агроэкотуризм.

Рисунок 3. Территориальная организация туризма Ивановского района

Конфигурация центральной зоны обусловлена его специализацией в области историко-культурного туризма, связанного с выдающимися деятелями культуры и искусства – уроженцами Ивановского района, в сочетании с экологическим велотуризмом и агроэкотуризмом.

Познавательный туризм тематически связан с жизнью, культурным ландшафтом и творческим наследием Н. Орды на базе музейного комплекса в деревне Вороцевичи и г.

Иваново. Второй центр развития историко-культурного туризма сформирован на месте родовой усадьбы Ф.М. Достоевского и формируется на базе литературно-краеведческого музея в агрогородке Достоево. Третий центр в деревне Мохро представляет экспонаты картинной галереи известного белорусского художника А. Кузьмича, здесь же создан народный историко-краеведческий музей.

Экологический туризм центральной зоны может быть представлен велотуризмом с разработкой радиальных веломаршрутов на базе Ивановского районного центра детско-юношеского туризма и краеведения, где имеется возможность размещения туристов и есть пункт проката спортивного инвентаря. Агротуризм предлагает услуги отдыха в агроусадьбах в деревнях Яечковичи, Кужеличи, Вороцевичи.

Юго-восточная зона географически приурочена к деревне Завышье со специализацией лечебно-оздоровительного туризма в сочетании с экологическим и агротуризмом. Центром этой зоны выступает санаторий «Алеся», который имеет и хороший потенциал для дополнительного развития здесь рекреационного экотуризма, представленного прогулочными велосипедным, пешеходным, водным видами. Для их комплексного развития необходимо разработать и обустроить экологическую тропу, которая должна выполнять как эколого-познавательные, так и рекреационно-оздоровительные функции. В агроусадьбах деревень Завышье и Одрижин предлагают услуги отдыха.

В качестве эффективного инструмента интеграции различных направлений устойчивого туризма в Ивановском районе может выступать продвижение разработанного ранее «Зеленого маршрута «Яновское кольцо», который проходит по территории всех трех зон и центров туристического развития района [19].

Партнеры в зонах устойчивого туризма должны находиться в тесной координации в продвижении турпродуктов на внешних и внутренних рынках, необходима совместная информационная поддержка развития туризма, расширение перечня и качества оказываемых туруслуг, развитие туристической инфраструктуры.

Заключение

На современном этапе развития туризма все большую значимость приобретают практические вопросы устойчивого использования природного и историко-культурного потенциалов регионов, повышения качества и конкурентоспособности турпродуктов, сохранения ландшафтного и биологического разнообразия, содействие стабильности социокультурной обстановки, вовлеченности в оказание туристических услуг местного населения.

На базе местных ресурсов в Ивановском районе созданы уникальные туристические продукты национального и международного значения. Активно развивается познавательный этнографический туризм, историко-культурный, в том числе связанный с жизнью выдающихся художников и писателей, событийный фестиваль, гастрономический, водный и велотуризм, а также познавательный экотуризм, основанный на наблюдениях за природными комплексами низинных пойменных болот.

Методические подходы к разработке территориальной организации туризма, определение специализации каждой зоны и центров развития на основе сопряженного анализа природного и историко-культурного потенциалов, развитости туристической инфраструктуры и местоположения субъектов оказания туристических услуг, могут быть применены для регионов с целью продвижения идей устойчивого туризма.

Список литературы

1. Официальный сайт ООН Цели в области устойчивого развития – [Электронный ресурс]. – 2020 – URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/>. (Дата обращения 26.12.2022).
2. Официальный сайт Департамента по экономическим и социальным вопросам ООН / Устойчивое развитие – [Электронный ресурс]. – URL: <https://sdgs.un.org/ru/topics/sustainable-tourism>. (Дата обращения 26.12.2022).
3. Nahinan N.V., Galai E.I., Aliaskarov D.T., Tokpanov Y.A., & Inkarova Zh. Ecological tourism development in the National parks of Belarus // *GeoJournal of Tourism and Geosites*. – 2022. – Vol. 44(4). – P. 1216–1221. <https://doi.org/10.30892/gtg.44405-937>.
4. Мажар Л.Ю. Территориальные туристско-рекреационные системы. Монография. – Смоленск: Универсум, 2008. – 212 с.
5. Шимова О.С. Устойчивый туризм: учебное пособие. – Минск: РИПО, 2014. – 158 с.
6. Шарухо И.Н., Шадракова А.В., Тупицыной Н.Б. Развитие агроэкотуризма в приграничных регионах на примере Брестской и Гродненской областей: монография на рус. и англ. языках. – Минск: Изд. В.Хурдик, Смэлток, 2015. – 247 с.
7. Тарасенка А.И. Бизнес в агро- и экотуризме: пособие. – Минск, 2014. – 380 с.
8. Клицунова В.А., Гагина Н.В., Решетников Д.Л., Яротов А.Е. Рекомендации по открытию и эксплуатации зеленых маршрутов: пособие. – Минск: Ковчег, 2010. – 128 с.
9. Nahina N.V., Galai E.I., Aliaskarov D.T., Tokpanov Y.A., Inkarova Z. Ecological tourism development in the National Parks of Belarus // *GeoJournal of Tourism and Geosites*. – 2022. – Vol. – 44(4). – P. 1216–1221.
10. Šenková A., Kormaníková E., Šambronská K., & Matušíková D. Perception of overtourism in selected European destinations in terms of visitor age and in the context of Sustainable tourism. *GeoJournal of Tourism and Geosites*. – 2022. – Vol. 45(4spl). – P. 1643–1649. <https://doi.org/10.30892/gtg.454spl14-985>.
11. Гагина Н.В., Яротов А.Е. Концепция развития зелёного туризма Ивановского района Брестской области. – Иваново: ОО «Ясельда», 2015. – 29 с.
12. Гагина Н.В., Яротов А.Е. Зеленый туризм как инструмент устойчивого развития Ивановского района Брестской области // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивого развития Полесья: сборник докладов на Международной научной конференции (Минск, 14-17 сентября 2016 г.) в 2 т. Т. 1. – Минск: Беларуская навука, 2016. – С. 227-230.
13. Физико-географическое районирование Беларуси (в европейской десятичной системе районирования) / Природа Беларуси: энциклопедия. Т.1 Земля и недра. – Минск: БелЭн, 2009. – 425 с.
14. Pasek M., & Ratkowski W. Participation in ecotourism education, gender and place of residence as determinants of attitudes towards sustainable tourism. *GeoJournal of Tourism and Geosites*. – 2021.- Vol. 35(2).- P. 406-410. <https://doi.org/10.30892/gtg.35219-665>.
15. Официальный сайт Ивановского районного исполнительного комитета. Отдых, туризм и спорт [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ivanovo.brest-region.gov.by/ru/2010-10-05-06-18-17-351-ru/>. (Дата обращения 26.12.2022).
16. Республика Беларусь. Ландшафтная карта [Карты]. Масштаб 1: 500 000. – Минск: РУП «Белкартография», 2014.
17. Юргенсон Н.А. Особенности уникальных особо охраняемых природных территорий. – Минск: БелЭН, 2017 – 400 с.
18. Озера Беларуси: справочник / Якушко О.Ф. и др. – Минск: БГУ, 2020. – 284 с.
19. Официальный сайт Отдела по образованию Ивановского райисполкома. Зелёные маршруты [Электронный ресурс]. – URL: <http://ivanovo.edu.by/ru/main.aspx?guid=14511>. (Дата обращения 26.12.2022).

Н.В. Гагина, А.Е. Ярогов, Е.И. Галай

Беларусь мемлекеттік университеті, Минск, Беларусь Республикасы

Тұрақты даму парадигмасындағы экотуризмнің территориялық ұйымдастыру (Иванов ауданы мысалында)

Аңдатпа. Мақалада табиғи және тарихи-мәдени мұра объектілерін орналастырудың ішкі өңірлік ерекшеліктерін ескере отырып, тұрақты даму қағидаттары негізінде туризмді аумақтық ұйымдастыруды оңтайландыру, туризм инфрақұрылымын және экономиканы дамыту мәселелері қарастырылған. Зерттеу объектісі Иванов ауданның аумағы болып табылады, оның айрықша ерекшелігі туризмнің экологиялық, мәдени және басқа да қолайлы түрлерін дамыту үшін маңызды табиғи және тарихи-мәдени әлеуеттердің болуы болып табылады. Әр аймақтың мамандану және анықтамалық туристік орталықтарын анықтаумен ауданды туристік аудандастыру аяқталды.

Түйін сөздер: Тұрақты туризм, табиғи әлеует, тарихи-мәдени мұра, туризм инфрақұрылымы, аумақтық ұйымдастыру.

N.V. Nahina, A.E. Yarotau, E.I. Galai

Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

Territorial ecotourism organization in sustainable development paradigm (on the example of Ivanovo district)

Abstract. The article considers the issues of optimizing territorial tourism organization based on the principles of sustainable development, taking into account intraregional features of the placement of natural and historical and cultural heritage objects, development of tourist infrastructure and economic activity of

local communities. The object of the study is the territory of Ivanovo district, a distinctive feature of which is the presence of significant natural, historical and cultural potential for the development of ecological, cultural and other friendly types of tourism. Tourism zoning of the area has been carried out with the definition of specialization and reference tourist centers of each zone.

Keywords: Sustainable tourism, natural potential, historical and cultural heritage, tourist infrastructure, territorial organization.

References

1. Oficial'nyj sajt OON Celi v oblasti ustojchivogo razvitiya [Official website of the UN Sustainable Development Goals] Available at: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/>. (accessed 26.12.2022).
2. Oficial'nyj sajt Departamenta po ekonomicheskim i social'nym voprosam OON [Official website of the UN Department of Economic and Social Affairs], Ustojchivoe razvitie [Sustainable Development] Available at: <https://sdgs.un.org/ru/topics/sustainable-tourism>. (accessed 26.12.2022).
3. Nahinan N.V., Galai E.I., Aliaskarov D.T., Tokpanov Y.A., & Inkarova Zh. Ecological tourism development in the National parks of Belarus, *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 44(4), 1216–1221(2022). <https://doi.org/10.30892/gtg.44405-937>.
4. Mazhar L.YU. Territorial'nye turistsko-rekreacionnye sistemy [Territorial tourist and recreational systems]. Monografiya. (Smolensk, Universum, 2008, 212 p.)
5. SHimova O.S. Ustojchivyy turizm: uchebnoe posobie [Sustainable Tourism: a study guide]. (Minsk, RIPO, 2014, 158 p.)
6. SHaruho I.N., SHadrakova A.V., Tupicinoj N.B. Razvitie agroekoturizma v prigranichnyh regionah na primere Brestskoj i Grodnenskoj oblastej: monografiya na rus. i ang. Yazykah [The development of agroecotourism in the border regions on the example of the Brest and Grodno regions: a monograph in Russian and eng. languages]. (Minsk, Izd. V.Hursik, Smeltok, 2015, 247 p.)
7. Tarasenko A.I. Biznes v agro- i ekoturizme: posobie [Business in agro- and ecotourism: a guide]. (Minsk, 2014, 380 p.)

8. Klicunova V.A., Gagina N.V., Reshetnikov D.L., YArotov A.E. Rekomendacii po otkrytiyu i ekspluatacii zelenyh marshrutov: posobie. [Recommendations for the opening and operation of green routes: a guide] (Minsk, Kovcheg, 2010, 128 p.)
9. Hahina N.V., Galai E.I., Aliaskarov D.T., Tokpanov Y.A., Inkarova Z. Ecological tourism development in the National Parks of Belarus, *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 44(4), 1216-1221(2022).
10. Šenková A., Kormaníková E., Šambronská K., & Matušíková, D. Perception of overtourism in selected European destinations in terms of visitor age and in the context of Sustainable tourism. *GeoJournal of Tourism and Geosites*. 45(4), 1643–1649(2022). <https://doi.org/10.30892/gtg.454spl14-985>.
11. Gagina N.V., YArotov A.E. Konceptsiya razvitiya zelyonogo turizma Ivanovskogo rajona Brestskoj oblasti [The concept of development of green tourism in the Ivanovo district of the Brest region]. (Ivanovo, OO «YAsel'da», 2015, 29 p.)
12. Gagina N.V., YArotov A.E. Zelenyj turizm kak instrument ustojchivogo razvitiya Ivanovskogo rajona Brestskoj oblasti, *Problemy racional'nogo ispol'zovaniya prirodnyh resursov i ustojchivogo razvitiya Poles'ya: sbornik dokladov na Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii* [Green tourism as a tool for sustainable development of the Ivanovsky district of the Brest region, Problems of the rational use of natural resources and sustainable development of Polesie: a collection of reports at the International Scientific Conference] (Minsk, 14-17 sentyabrya 2016 g.) v 2 t. T. 1. (Minsk, Belaruskaya navuka, 2016, 227-230).
13. Fiziko-geograficheskoe rajonirovanie Belarusi (v evropejskoj desyaticnoy sisteme rajonirovaniya) / Priroda Belarusi: enciklopediya. T.1 Zemlya i nedra [Physical-geographical zoning of Belarus (in the European decimal zoning system) / Nature of Belarus: encyclopedia. T.1 Land and bowels]. (Minsk, BelEn, 2009, 425 p.)
14. Pasek M., Ratkowski W. Participation in ecotourism education, gender and place of residence as determinants of attitudes towards sustainable tourism. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 35(2), 406-410(2021). <https://doi.org/10.30892/gtg.35219-665>.
15. Oficial'nyj sajt Ivanovskogo rajonnogo ispolnitel'nogo komiteta. Otdyh, turizm i sport [Official site of the Ivanovo regional executive committee. Leisure, tourism and sports]. Available at: <http://www.ivanovo.brest-region.gov.by/ru/2010-10-05-06-18-17-351-ru/>. (accessed 26.12.2022).
16. Republic of Belarus. Landscape map [Maps]. Scale 1: 500,000. (Minsk, RUE "Belkartography", 2014).
17. Yurgenson N.A. Osobennosti unikal'nyh osobo ohranyaemyh prirodnyh territorij [Features of unique specially protected natural areas]. (Minsk, BelEN, 2017, 400 p.)
18. Ozera Belarusi: spravochnik [Lakes of Belarus: reference book] (Minsk, BGU, 2020, 284 p.)
19. Oficial'nyj sajt Otdela po obrazovaniyu Ivanovskogo rajispolkoma. Zelyonye marshruty [Official website of the Education Department of the Ivanovo District Executive Committee]. Available at: <http://ivanovo.edu.by/ru/main.aspx?guid=14511>. (accessed 26.12.2022).

Сведения об авторах:

Гагина Н. – кандидат географических наук, доцент, Заведующая кафедрой «Географическая экология», Белорусского государственного университета, ул. Независимости, 4, Минск, Республика Беларусь.

Яротов А. – кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии мира и образовательных технологий Белорусского государственного университета, ул. Независимости, 4, Минск, Республика Беларусь.

Галай Е. – кандидат географических наук, доцент кафедры географической экологии Белорусского государственного университета, ул. Независимости, 4, Минск, Республика Беларусь.

Gagina N. – Candidate of Geography, Associate Professor, Head of the Department of Geographical Ecology, Belarusian State University, Nezavisimost str.,4, Minsk, Republic of Belarus.

Yarotov A. – Candidate of Geography, Associate Professor, Department of Physical Geography of the World and Educational Technologies, Belarusian State University, Nezavisimost str.,4, Minsk, Republic of Belarus.

Galai E. – Candidate of Geography, Associate Professor of the Department of Geographical Ecology, Belarusian State University, Nezavisimost str.,4, Minsk, Republic of Belarus.

¹Ye. Keukenov, ²K. Dzhanaleeva, ³G. Baryshnikov,
⁴K. Orazymbetova

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
(E-mail: ²dzhanaleeva_km@enu.kz, ³bgj@geo.asu.ru, ⁴orazymbetova62@mail.ru)
Corresponding author: ¹komorymoroni@mail.ru

Landscape forming factors of the Karkaraly low mountains

Abstract. *The territory of geosystems of the Karkaraly low mountains is mainly forest landscapes and dark-chestnut soil cover. The paper reflects the state of the soil and vegetation cover of the forest landscapes of the Karkaraly low mountains in the Karaganda region. The paper provides the results of chemical soil tests, describes the vegetation cover samples using geoinformation technologies based on the standard quantitative index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), confirmed in field studies in the summer of 2020. The work performed aims at a comprehensive assessment of the physical, chemical, and biological characteristics of the components of geosystems.*

In course of the field study, a brief description of phytodiversity was compiled, indicating the geomorphological attributes of key areas. To study the vegetation, sample plots of the underlying soil and vegetation cover were set. Overview and thematic maps of the object under study were created. At the final stage of the study, the interpretation of the results is presented with the identification of cause-and-effect relationships of the state and fluctuations of geoecosystems. Data sources include satellite images of Landsat-8 (US Geological Survey) and field studies along the routes and four key areas. The results of the work allow defining the object under study, determining the distinctive properties in key areas, as well as possible reasons for the difference in the studied territory of geosystems.

Keywords: forest landscapes, phytodiversity, ecosystem, chemical analysis, biodiversity.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2023-142-1-83-94>

Introduction

Soil and vegetation cover plays a special part among the landscape-forming factors and performs various functions, where one of them is ecological. In addition to natural factors that influence the formation and development of the soil and vegetation cover, anthropogenic impact, both indirect and direct, is of particular importance. The level of anthropogenic impact can be assessed by the degree of pollution of the object under study, by changes in biochemical processes in geoecosystems. The object under study in this paper is the landscapes of the Karkaraly low mountains; therefore, identifying the degree of anthropogenic impact on the study area is of particular interest. The intensity of anthropogenic impact on the environment reduces the stability of geosystems, which requires a periodic monitoring of the territory to determine positive or negative changes.

The study of the composition and properties of the soil of the area is an important problem. After all, in order to have a well-kept and environmentally properly set plot, it is essential to understand the chemical composition and type of the soil. In current times, it is important to find out what is the pollution intensity in a given area, how it affects the phytodiversity and soil cover of the object under study. Considering that plants.

have an attached mode of life, the state of their organism reflects the state of the particular local habitat. It is the chemical analysis will identify the signs, the causes of soil contamination. Identification of the features of composition and properties of particular soils will determine the methods of soil maintenance so that the percentage of fertility remains high enough. The importance of assessing the state of natural plant populations lies in the fact that plants are the main producers, where their role in the ecosystem can hardly be overestimated. Plants are a sensitive objects that allows assessing the entire complex of impacts specific to a given territory as a whole, since they assimilate substances and are directly affected simultaneously from two environments: from the soil and from the air.

Territory under study

The geosystems of the Karkaraly low mountains are located in the eastern part of the Kazakh Uplands in the Karkaraly district of the Karaganda region. They represent a low-hill terrain with isolated massifs of low mountains extending from the north-northwest to the southeast for 30–35 km with a width of 20–25 km. The mountains are ones of the highest in Central Kazakhstan and consist of individual ridge mountains (Zhirensakal, Akterek, Myrzashoky, Karkaraly, Buguly, Koktobe, Shankoz). The highest point is Komsomolsky Peak with a height of 1403 m above sea level, which is part of the southern ridge of Zhirensakal. To the south-east of this ridge are the Akterek mountains, 1230 m above sea level, and Myrzashoky, 1170 m above sea level. To the north are located: the Karkaraly jagged ridge, up to 1115 m above sea level (which gave the name to the entire mountain-forest massif), the Bugula ridge (1323 m above sea level), and the Shankoz ridge, up to 1360 m above sea level. In the west, there is the seven-peak Koktobe (1254 m above sea level) [1]. The Karkaraly mountain-forest massif is divided by the wide intermountain valleys of Kendara, Kurozek, Karatoka and others, and is endowed with fresh groundwater.

The diversity of terrain and soil cover determined the phytodiversity development.

The area under study is almost completely located in the dry steppe subzone of the steppe landscape-climatic zone. In the Karkaraly low mountains, mainly pine forests grow with undergrowth of *Rosa spinosissima*, *Rosa majalis*, *Juniperus communis*, *Lonicera tatarica*, *Padus avium*, *Crataegus sanguinea*. They account for 71.3% of the total area of mountain forests. Birch forests (*Betula pendula*, *B. pubescens*) are located on the slopes of northern and north-eastern exposure, in valleys between hills, along rivers and streams. They occupy 10% of the forested territory, and about 2% of the forested territory is occupied by aspen forests (*Populus tremula*) confined to relief depressions, valleys of rivers and streams, and the toes of round slopes [2, 3, 4, 5].

The first geobotanical studies of the geosystems of the Karkaraly Mountains were carried out by A.Ya. Gordyagin, a professor at Kazan University. It was then that the assumption was put forward that the forests located in the islands inherit the former single forest massif, which had a connection with the taiga forests in the north. Then, the same assumption was put forward by I.M. Krashennikov, who believed that the island forests of the Karkaraly low mountains were the remnants of the forest-steppe belt stretching from the Southern Urals to Altai. A large number of boreal relics were discovered by V.N. Sukachev in the Kokshetau forests. Botanical studies of this territory were also carried out by B.A. Bykov, who in his book described in detail the vegetation cover of Central Kazakhstan, as well as its development in the Cenozoic era.

At the end of the 19th century, the West Siberian branch of the Geographical Society of Russia was established. The expeditions arranged by the branch made a significant contribution to the knowledge of not only the flora, but also the vegetation of the region. After 1917, botanical study was carried out in connection with the solution of practical problems. Geobotanical work in the region acquired a special scope during the development of virgin and fallow lands. In 1954-1955, botanists studied the northern part of this region as members of the Special Complex Expedition for the lands of new agricultural development. As a result of these works, the Natural Zoning of the Territory was completed (1960), a map of the vegetation of Northern Kazakhstan was compiled (which included the northern part of the region), and a description of the main types of steppes was given. A map of the vegetation of the Karaganda region was compiled.

In 1957 and 1959, the Biocomplex Expedition of the BIS and ZIS of the USSR Academy of Sciences carried out research mainly in the western part of the Uplands, partly they also included the geosystems of the Karkaraly low mountains.

In 1964-1966 and 1968, the work of the East Kazakhstan Expedition of the BIS of the USSR Academy

of Sciences was arranged, as a result of which the territory of Eastern Saryarka was also studied in detail. As a result, a map of the vegetation of the Kazakh Uplands was published, and Z.V. Karamysheva and N.I. Rachkovskaya published a monograph "Botanical Geography of the Steppe Part of Central Kazakhstan". The monograph presents a list of flora with analysis, general characteristics of vegetation, botanical and geographical zoning, and a detailed description of the regions. In the eastern part of the Uplands, much attention was paid to the study of the forest vegetation of the low mountains.

Later on, local floristic and geobotanical studies were conducted in this area. In recent years, important resource studies have appeared in connection with the search for medicinal plant species.

However, the ratio of anthropogenic and natural factors that affect the functioning of the geosystems of forest areas is not fully covered in the scientific literature. There is no analysis of the multiway relationships of phytodiversity with the lithogenic base, topography, hydrological regime, and other factors.

Regarding the geosystems of the Karkaraly low mountains, work on expanding the network of specially protected natural areas (SPNA) is being carried out very slowly. Among the existing specially protected natural areas (SPNA), only the Karkaraly State National Natural Park and Buiratau receive funding, and even then, to an insufficient extent. On the territory of Karkaraly, not enough attention is paid to biotechnical measures to preserve and improve bioresources, despite the fact that their numbers are decreasing due to poaching and deterioration of habitat conditions. Now one of the most important tasks of conservation of nature and bioresources is to protect the gene pool of flora and fauna, as the loss of each species can cause significant harm to the social-economic and ecological-geographical interests of society. The depletion of flora and fauna is observed in all regions of Central Kazakhstan. For rare and endangered species of flora and fauna, excessive fishing, poaching and destruction of their natural habitats threatens with complete extinction. Broad and systematic inventory studies of flora and fauna are lacking or clearly insufficient [6].

The soils of the mountain-forest massifs of Karkaraly and Kent develop under the influence of two factors, which are vertical zonality and geological features of the area. Like all other mountain soils, dark chestnut soils are very heterogeneous in terms of their physical-chemical and genetic production traits and differ from each other in the thickness and severity of the humus horizon, the thickness of the fine-earth strata, the nature of the underlying rocks, the degree of alkalinity and carbonate content.

Methodological framework and study methods

General geographical methods [7] were used in the work. To preliminary introduce the object under study, as well as to identify the degree of compliance with the cartographic material of the territory, to develop a unified methodology of observation and fixation of components for the entire route, a reconnaissance survey of the area was carried out. Soil cover studies in key areas were carried out using the methodology of V.M. Fridland. [8] The soil pits were set with consideration to the terrain.

Analysis and discussion

According to the forms of the surface structure, the described area is divided into latitudinal-northeast-trending bands, coinciding with the zones of anticlinal uplifts and synclines described

above. It is common to the entire area that ancient pre-Upper Palaeozoic rocks form a low levelled terrain, while igneous formations of the Middle-Upper Carboniferous and Permian age form belts of mountainous relief or island mountain ranges, like the Karkaraly or Kent mountains. The latter represent the result of long-term continental denudation as early as the Carboniferous, as a result of which Upper Palaeozoic igneous formations accumulated on a flattened surface. Comparison of the Middle Palaeozoic surface elevations in the Synclinorian basement and in the anticlinal uplifts shows that this surface is partly undulating and partly broken into blocks.

In any case, the Middle Palaeozoic does not rise above the established or restored basal surface of the Upper Palaeozoic, the latter being incompletely manifested in the modern surface relief in a somewhat distorted form. Of course, it is difficult to say whether it is separated from the Permo-Carboniferous deposits or directly inherited from the Upper Palaeozoic, but the undoubted levelling of the Middle Palaeozoic relief

follows from the whole essence of the geological development of the Karkaraly region. The active relief-forming nature of the Upper Palaeozoic magmatism becomes more obvious.

Not only lava accumulations, volcanic cones, and extrusive laccoliths, but also uplifted massifs of granular granites solidified at a shallow depth rise above the level of the Middle Palaeozoic surface. It can be assumed that the formation of the main positive landforms is associated with the active magmatism processes. In particular, there is a direct evidence that the granite and granodiorite massifs of the region were formed in the groundmass not by metasomatic means, but by the active intrusion of magmatic melt, which raised the roof to a height of up to 2 km from its original position.

In relation to the magmatic forms of the Upper Palaeozoic, the modern terrain is directly inherited. Simple forms are sometimes inversed. For example, in some cases synclinally built lava fields got a higher position than the zone of volcanic cones that formed these covers, which was explained by the armouring of the surface by gently lying covers of acidic hard tuff lavas.

At the same time, the foregoing, apparently, gives reason to reject the idea that in Central Kazakhstan, in the Mesozoic or at a later time, any single levelling surface developed, from which all the now existing landforms occurred. In the Mesozoic, there was a period of descending development of the terrain, but apparently, it was associated not so much with the levelling as with the conservation of the ancient Upper Palaeozoic forms.

The modern terrain of the area is a typical combination of sharply defined mountain ranges and wide branched intermountain plains, with river valleys locating along them. The plains are located almost entirely on the Middle Palaeozoic rocks of the anticlinal zones, despite the fact that these rocks are often more resistant and harder than the nearby igneous rocks of the Upper Palaeozoic massifs.

The Upper Palaeozoic volcanic relief is cut by narrow rectilinearly oriented valleys dependent on faults. Intermountain valleys and plains are filled with Neogene and higher Quaternary deposits. It is known that Paleogene and partly Upper Cretaceous loose rocks appear in the valley deposits along the periphery of Central Kazakhstan. In connection with this, the age of these valleys is determined on the interval from the Upper Cretaceous to the Neogene. The Quaternary period is characterized by a noticeable revival of erosion, the cutting of river valleys into the Neogene and Palaeozoic deposits, which causes the regeneration of the pre-Quaternary terrain, strengthening its general dissection, sharpness and contrast of forms.

Mountain groups and individual island mountains are of a tectonic nature. Almost everywhere they are morphologically well expressed, have a distinct sole, sharp forms, more often than exposed tors.

The latest tectonic movements, which are widely manifested in the eastern part of Saryarka, are established by a number of signs:

- wide ancient valleys separating mountain ranges, partly developed within tectonic troughs or faults;
- stable contrasting appearance of some mountain structures, despite the relatively easily destroyed constituent rocks (granitoids);

- distinct rectilinear tectonic ledges, antecedent sections of river valleys, deformations of levelling surfaces, confinement of springs and lakes to sharp inflections of the topographic profile, wide development of cracks, slickensides, etc.

The shape of the mountains is developed mainly by erosion, although gravitational slope processes, combined with physical and chemical weathering, are also widespread. Usually the slopes of the mountains are steep, especially in the upper part, often more than 30°, where sharp ridges are combined with gorges. Various bizarre forms of weathering, talus, stone streams are noted here. In the lower part, the steepness of the slopes decreases to 15-20°, they acquire soft convex and concave outlines. Erosive incisions take on smoother transverse and longitudinal profiles, but the direction of the ravines coincides with the strike of the cracks.

According to the morphometry, the mountains of the Karkaraly district, as well as the entire Saryarka, belong to the low-mountain type with a relative elevation above the framing surfaces of 200-600 m. Since, in most cases, mountain ranges are framed by small hills, the measurement reference is the surface of intramountain and intermountain depressions and valleys.

Watershed peaks have levelling surfaces. The north-western (Shyngys-Khantau) direction of morphostructures changes to the east-northeast (Tekturmas) direction here, and therefore both of these directions are noted on the main watershed, depending on the stability of the structures, as well as the orientation of mountain ranges along widespread tectonic faults.

Low-mountain massifs are usually confined to the cores of Palaeozoic anticlines and are mostly composed of stable rocks, often jaspers, quartzites, porphyries, and tuffites. More rarely, Late Hercynian granitoids, which determines their appearance. The mountain peaks are pointed, the slopes are rocky.

In this case, mainly the highest (eluvial landscapes) and the lowest (accumulative-eluvial or superaqueous landscapes) places were selected [8]. Four key areas were set on the territory of the study object (Table 1, Figure 1.)

The organization of field studies of the phytodiversity of geosystems of the Karkaraly low mountains included the following stages:

- 1) Collection of herbarium material of vegetation cover of different systematic groups. At this stage, a herbarium was collected, plant species were identified;
- 2) Characteristics of the vertical structure of the vegetation cover. In this case, a morphological approach was used, implying the allocation of tiers according to the height of the crowns;
- 3) Determination by species – the abundance of woody and large herbaceous forms was determined by the methods of Drude and Shennikov, Yaroshenko.

The cartographic research method included the modelling of a single natural territorial complex with consideration to the preservation of its geometric image. The key areas were selected based on the geographical and indicative localization of the mapped ecosystems. The analysis of spatial images was carried out with the relationship between the geometric and genetic aspects of the object under study. Each key area is characterized by an individual genetic process and the structure of spatial forms.

Table 1. Coordinates of key areas

Key area	Geographical coordinates	
	North latitude	East longitude
1	2	3
No.1	49° 28' 11"	75° 31' 45"
No.2	49° 12' 54"	75° 13' 43"
No.3	49° 41' 18"	75° 34' 50"
No.4	49° 34' 27"	75° 04' 07"

Key area No. 1 is located near the middle reaches of the Karkaralinka River, northeast of the town of Karkaraly. The phytodiversity of this area is represented by forbs, predominantly wormwood vegetation. There are trees (elms, birches) in combination with shrubs (rose hips, currants) at the foot of the hills. The main representatives of vegetation: wormwood, fescue, feather grass. The study area is in some places affected by pastureland, which is why the vegetation is partially thinned out.

Key area No. 2 is located on the territory of the lower reaches of the Zharly River and its tributary (the Taishchek River), which is represented by steppe shrub-sagebrush-fescue associations with rare occurrence of *Pinus sylvestris* pine and *Betula pendula* birch. Shrubs are mainly presented by steppe species (*Rosa spinisissima*, *Spiraea crenata*, *S. Hypericifolia*, *Caragana frutex*). Key area No. 3 is located at the source of the Karkaralinka River, southwest of Akzhol village.

Key area No. 4 is located on the territory of the middle reaches of the Zharly River near Karbushevka village. The location map of key areas is shown in Figure 2. Soil pits were set in the indicated key areas and soil samples were taken in accordance with the standards – GOST 17.4.4.02-84 “Nature Protection. Soils. Methods of sampling and sample preparation for chemical, bacteriological, helminthological analysis”. For the chemical analysis of the soil of key areas, the results of laboratory studies of EcoExpert LLP of the Republic of Kazakhstan were used

Earth remote probing (ERP) is in great demand in scientific geography and is used in numerous studies. Vietnamese researchers Duong Thi Loi, TienYin Chou, and Yao-Min Fang used ERP methods and

FCD index to study the forests of Thai Nguyen province [12]. Long-time satellite images help to generalize information about the forest cover of the Earth [13, 14]. The study area is located in the Karkaraly district of the Karaganda region. The source of data for the study of the territory was multispectral space images of the Earth from the Internet resource of the US Geological Survey ([https:// earthexplorer.usgs.gov/](https://earthexplorer.usgs.gov/)) Landsat 8. These channels were used to calculate the NDVI index (Figure 3).

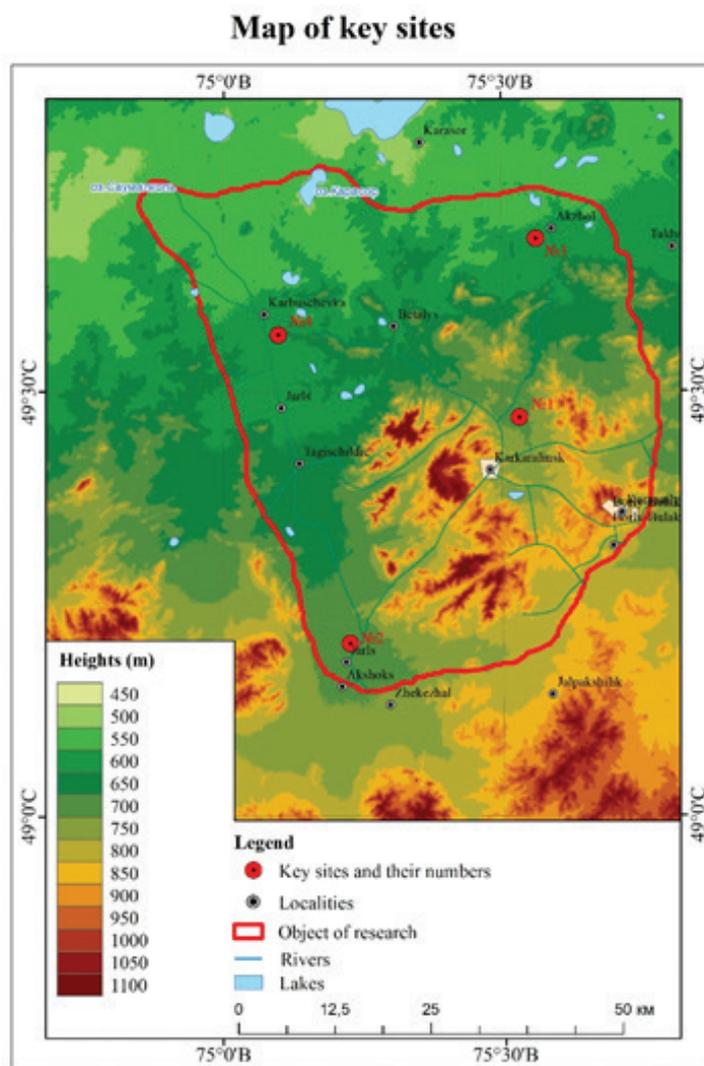


Figure 1. Map of the key areas of the geosystems of the Karkaraly low mountains.
Scale 1:500,000

Results

According to the results of NDVI calculation for Key Area No. 1 (Figure 2), the value is 0.20 [9, 10, 11]. This indicator allows for attributing the vegetation of this territory closer to sparse. Plant community consists of fescue-red feather grass, meadowsweet-fescue-red feather grass vegetation on chestnut soils. For Area No. 2, the value is 0.45, which characterizes it as an area with dense vegetation. It is represented by fescue-red feather-grass, Austrian wormwood-cattail-fescue vegetation with forb-quackgrass meadows on dark chestnut and normal meadow soils. Areas No. 3 and No. 4 show a value of 0.17-0.18, which means that the vegetation of these areas is sparser. According to our assumptions, the reason for this is the ploughing of the steppes, cattle grazing. Meadowsweet-fescue and oat grass, meadowsweet-forb and fescue-red feather-grass vegetation grows in these areas on chestnut soils. In accordance with the NDVI indicators, the areas were visited to assess the forest stand in terms of species and quality composition.

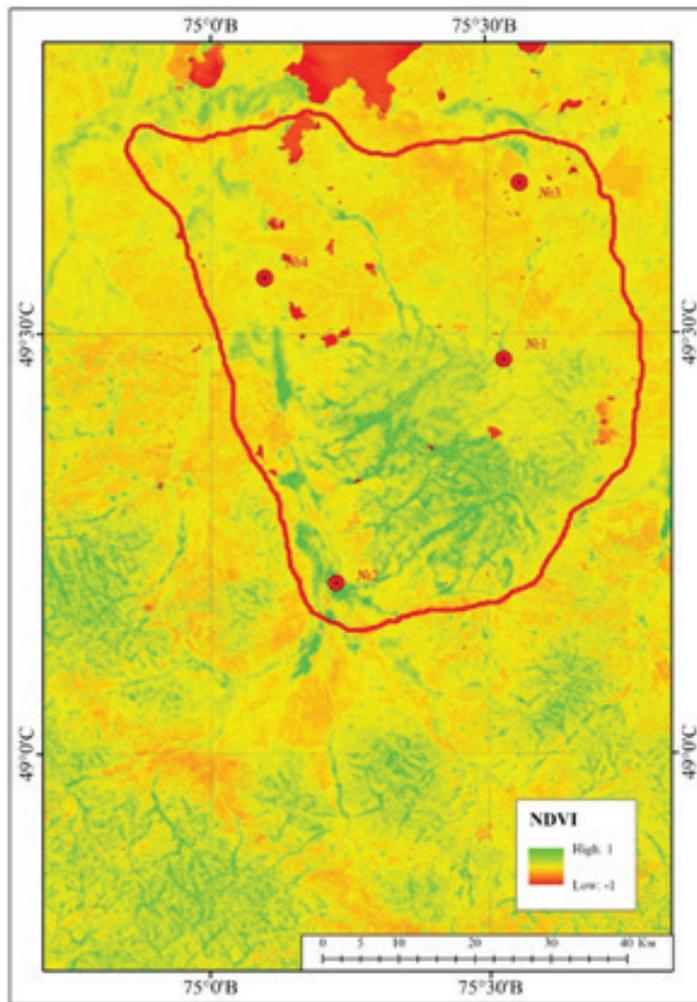


Figure 2. Map of NDVI indicator of the study area as of June 2021. Scale 1:500,000

The main accumulator of nutrients in the soil in the key areas (Table 2) is humus, which contains 95-99% of all soil nitrogen reserves, 60% of phosphorus, up to 80% of sulphur, and a significant part of microelements. The content of humus in the soil cover varies from 3.31 to 7.25%, which for the steppe and forest-steppe zones determines Key Areas No. 1-4 as a fertile layer (over 2%). [15].

The pH values of the soil of all key areas can be correlated as alkaline.

According to the table, in all four key areas, the index of chromium, arsenic and copper exceeds the maximum allowable concentration (MAC) by more than 10 times. The concentration of zinc, nickel and cobalt exceeds this indicator too. According to our assumption, the Karagaily Mining and Processing Plant (MPP), located in the south-eastern part of the study area, has a depressing effect on the ecosystem introducing imbalance in the results of soil surveys (Figure 3). The rest of the values in the areas are deemed standard.

Table 2. Results of chemical analysis of soils from key areas

No.	Sampling point	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	MAC
1	Total humus, %	3.31	7.25	5.77	6.96	
2	pH	9.03	8.88	7.68	7.80	
3	Nitrates (mg/100 g)	14.9	31.7	2.3	1.3	13
4	Manganese(mg/kg)	800	708	655	1312	1500
5	Vanadium (mg/kg)	76	62	82	71	150
6	Chromium (mg/kg)	83	75	69	66	6.0
7	Lead (mg/kg)	<30	<30	<30	<30	32
8	Arsenic (mg/kg)	<30	<30	<30	<30	2
9	Zinc (mg/kg)	56	49	39	70	23
10	Copper (mg/kg)	42	37	31	49	3
11	Nickel (mg/kg)	28	20	20	25	4
12	Cobalt (mg/kg)	<10	<10	<10	13	5

According to the draft regulations for maximum allowable emissions (MAE) of pollutants into the atmosphere of the Karagaily Mining and Processing Plant for 2022-2031 (10), the total number of sources polluting the environment is 48 (29 stationary sources, and 19 fugitive sources). The previous Draft MAE considered sources in the amount of 46. The increase in the number of pollution sources is associated with the merger of two approved projects – DP “Reconstruction of the Karagaily Mining and Processing Plant for processing ores from the Akbastau, Abyz, Kosmurun deposits”. The reconstruction of the Karagaily Mining and Processing Plant considered emissions from 46 pollution sources (the main operations of the concentrator). The Glavnii Pit operation project considered emissions from 2 pollution sources (dusts from the pit walls and beaches). Thus, when combining the above approved projects, 48 sources are obtained, which are regulated by this Draft MAE for 2022-2031. Other additional sources of pollutant emissions are not considered in the developed Draft MAE.



Figure 3. Karagaily Mining and Processing Plant of “Karagandatsvetmet” PA, a branch of Kazakhmys Corporation LLP (photo by the author)

Conclusions

The results of the studies allow noting that there is a significant change observed in landscape components in these systems in terms of their qualitative composition. The vegetation index at the key area located near the anthropogenic system reflects the sparseness of the vegetation cover in relation to others. In the upper soil layer, some chemical elements significantly exceed the MAC. The important factor for this deviation is the close location to the Karagaily Mining and Processing Plant, which reflects the qualitative and species composition of the forest stand and the chemical analysis of the soil cover. Obviously, the reason for the change should be considered the involvement of more spaces in the anthropogenic landscape. The results obtained, statistical data and geoinformation models can be used in geoinformation mapping at the district level and in generating more detailed maps for a comprehensive atlas of the region, namely maps of vegetation, forest land, undergrowth, herbaceous vegetation in forest lands. The derived materials can be used as a cartographic basis for management in the field of forestry and forest management, monitoring; and also as a basis for solving the problems of optimizing regional nature management.

References

1. Keukenov Y., Dzhanaleeva K., Ataeva G., Ozgeldinova Zh, Orazymbetova K. Prospects of ecotourism development in Central Kazakhstan// *GeoJournal of Tourism and Geosites*.- 2022.- №42(2spl).-P. 664–670. <https://doi.org/10.30892/gtg.422spl04-875>
2. Keukenov Y.B., Dzhanaleeva G.M. Use of biological resources of the Karkaraly Mountains// *Vestnik KazNRTU*.-2021.- №5 (143).-P.10- 17
3. Dikareva T.V., Leonova N.B. Phytodiversity of the Karkaraly National Park (the Republic of Kazakhstan). *Arid ecosystems*.-2014.- №4 (61).-P.105-114
4. Keukenov Y., Dzhanaleeva K., Orazymbetova K. Recreational potential of the Karkaraly mountains.-2022.
5. Shomanova Z., Safarov R., Shomanov A., Tleulessov A., Berdenov Z., Lorant D. Aspects of assessment of Ecological impact of an Ash-Sludge collector of Pavlodar aluminum plant (Kazakhstan)// *Journal of Landscape Ecology*.-2020.- №17 (1).-P. 47-62.
6. Gabov U., Kist V., Hamzin B., Obuhov U., Smagulov B. Central Kazakhstan: problems and decisions. – Almaty: Evero, 2020. – 268 p.
7. Beruchashvili N.L., Zhuchkova V.K. *Metody kompleksnyh fiziko-geograficheskikh issledovaniy [Methods of complex physical and geographical research]* Uchebnik – M.: MGU, 2007. –p. 75-117, 203-218
8. Fridland V.M. *Struktura pochvennogo pokrova.[The structure of the soil cover.]* –M.: My'sl', 1972.- 423p.
9. Stamford John D., Violet-Chabrand, Silvere, Cameron, Iain, Lawson, Tracy. Development of an accurate low cost NDVI imaging system for assessing plant health.// *Plant Methods*.- 2023.- №19(1).-P 2. <https://doi.org/10.1186/s13007-023-00981-8>
10. Wang L, Duan Y, Zhang L, Rehman TU, Ma D, Jin J. Precise estimation of NDVI with a simple NIR sensitive RGB camera and machine learning methods for corn plants// *Sensors*.-2020.- №20(11).-P.3208
11. Gu Y, Wylie BK, Howard DM, Phuyal KP, Ji L. NDVI saturation adjustment: a new approach for improving cropland performance estimates in the Greater Platte River Basin, USA. *Ecol Ind*.- 2013.- №30.- P. 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.01.041>.
12. Duong Thi Loi, Tien-Yin Chou, и Yao-Min Fang. Integration of GIS and Remote Sensing for Evaluating Forest Canopy Density Index in Thai Nguyen Province, Vietnam. *International Journal of Environmental Science and Development*.-2017.- 8(8).-P. 539-542
13. Saei jamalabad M. and A.A. Abkar. Forest Canopy Density Monitoring Using Satellite Images, Proc. of The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress, Istanbul, Turkey.-2004.- 5 p.
14. Azizia Z., A. Najafi, and H. Sohrabia, Forest Canopy Density Estimating Using Satellite Images, Proc. of The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress Commission VIII, Beijing, China, July 3-11.-2008.- XXXVII. Part B8.- 1130 p.
15. Vozna L. Humus and its role in creating and maintaining soil fertility. Available at: <https://garden.wikireading.ru/10598> (Accessed 20/02/23)

Е. Кеукенов, К. Джаналеева, Г. Барышников, К. Оразымбетова
А. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Қарқаралы аласа тауларының ландшафт түзуші факторлары

Аңдатпа. Қарқаралы аласа таулары геожүйелерінің аумағы негізінен орман ландшафттарын және жер жамылғысының күнгірт-күрең топырақ түрін қамтиды. Еңбекте Қарағанды облысының Қарқаралы аласа тауларының орманды ландшафттарының топырақ және өсімдік жамылғысының жай-күйі көрсетілген. Мақалада топырақтың химиялық талдауының нәтижелері берілген, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – бұдан әрі мәтін бойынша ВИ) стандартты сандық индексі негізінде геоақпараттық технологияларды пайдалана отырып, өсімдік жамылғысы үлгілерінің 2020 жылғы жазғы кезеңде далалық зерттеулерде расталған сипаттамасы келтірілген. Жүргізіліп жатқан жұмыстар геожүйелер компоненттерінің физикалық-химиялық және биологиялық сипаттамаларын кешенді бағалауға бағытталған.

Далалық зерттеулер барысында негізгі учаскелердің геоморфологиялық құрамдарын көрсету арқылы фитоалуантүрлілік бойынша қысқаша сипаттама жасалды. Өсімдіктерді зерттеу үшін төсеме топырақ-өсімдік жамылғысының сынақ алаңдары салынды. Зерттеу объектісінің шолу және тақырыптық карталары жасалды. Зерттеудің соңғы сатысында геоэкожүйелердің жай-күйі мен ауытқуларының себеп-салдарлық байланыстарын анықтай отырып, нәтижелерді түсіндіру ұсынылған. Деректер көздері Landsat-8 (АҚШ Геологиялық қызметі) ғарыштық суреттері, маршруттар мен 4 негізгі учаске жөніндегі далалық зерттеулер болып табылады. Жұмыстардың нәтижелері зерделенетін зерттеу объектісінің сипаттамасын беруге, негізгі учаскелердегі айрықша қасиеттерді, сондай-ақ зерттеліп отырған геожүйелер аумағы айырмашылығының ықтимал себептерін айқындауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: орман ландшафттары, фитоалуантүрлілік, экожүйе, химиялық талдау, биоалуантүрлілік.

Е. Кеукенов, К. Джаналеева, Г. Барышников, К. Оразымбетова
ЕНУ им. А.Н.Гумилева, Астана, Қазақстан

Ландшафтообразующие факторы Каркаралинских низкогорий

Аннотация. Территория геосистем Каркаралинских низкогорий имеет, главным образом, лесные ландшафты и темно-каштановый тип почвенного покрова. В работе отражено состояние почвенного и растительного покрова лесных ландшафтов Каркаралинских низкогорий Карагандинской области. В статье даны результаты химического анализа почв, приведено описание образцов растительного покрова с использованием геоинформационных технологий на основе стандартного количественного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – далее по тексту ВИ), с подтверждением на полевых исследованиях в летний период 2020 года. Проводимые работы направлены на комплексную оценку физико-химических и биологических характеристик компонентов геосистем.

В ходе полевых исследований была составлена краткая характеристика по фиторазнообразию с указанием геоморфологических принадлежностей ключевых участков. Для исследования растительности были заложены пробные площади подстилающего почвенно-растительного покрова. Были созданы обзорная и тематическая карты объекта исследования. На завершающей стадии исследования представлена интерпретация результатов с выявлением причинно-следственных связей состояния и флуктуаций геоэкосистем. Источниками данных являются космические снимки Landsat-8 (Геологической службы США), полевые исследования по маршрутам и 4-м ключевым участкам. Результаты работ позволяют дать характеристику изучаемому объекту исследования, определить отличительные свойства на ключевых участках, а также возможные причины различия изучаемой территории геосистем.

Ключевые слова: лесные ландшафты, фиторазнообразие, экосистема, химический анализ, биоразнообразие.

Сведения об авторах:

Кеукенов Е. – докторант 3 курса по образовательной программе 8D05213 – География-География, ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Сатпаева 2, Астана, Казахстан

Джаналеева К.М. – доктор географических наук, профессор кафедры физической и экономической географии, ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Сатпаева 2, Астана, Казахстан

Оразымбетова К.Ш. – кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры географии, землеустройства и кадастра КазНУ им. Аль-Фараби, Аль-Фараби 71, Алматы, Казахстан

Барышников Г.Я. – доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и геоэкологии Алтайского государственного университета, просп. Ленина, 61А, Барнаул, РФ

Keukenov E. – 3rd year PhD student in the educational program 8D05213 - Geography, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Satpaev str., 2, Astana, Kazakhstan

Dzhanaleeva K.M. – Doctor of Geography, Professor of the Department of Physical and Economic Geography, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Satpaev str., 2, Astana, Kazakhstan

Orazymbetova K.Sh. – Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Geography, Land Management and Cadastre of Al-Farabi KazNu, Al-Farabi 71, Almaty, Kazakhstan

Baryshnikov G.Ya. – Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Nature Management and Geoecology, Altai State University, prosp. Lenina, 61A, Barnaul, RF

Г.М. Атаева

Актюбинский региональный университет им. К.Жубанова,
Актобе, Казахстан
(E-mail: a.g.m.67@mail.ru)

Сезонная динамика биологической продуктивности основных ассоциаций степей Западного Казахстана

Аннотация. В работе приводятся результаты собственных исследований автора по изучению сезонной динамики биологической продуктивности основных ассоциаций комплексных степей Западного Казахстана. В различных экологических и микроклиматических условиях рассматривается накопление надземной и подземной фитомассы в течение сезона, а также анализируются продукционно-деструкционные процессы в растительных сообществах. По результатам исследований разработаны рекомендации по сохранению степных экосистем и рациональному использованию пастбищных угодий в течение вегетационного сезона, в том числе в годы с разным гидротермическим режимом.

Биологическая продуктивность растительности степей, в сочетании с климатическими факторами, на протяжении веков обеспечивают плодородие почв степной зоны, которая является основной житницей земледелия и животноводства. Практически фронтальная распашка степей Казахстана, более чем на 70%, способствовала трансформации степной растительности на больших площадях.

Ключевые слова: биологическая продуктивность, продукционно-деструкционный процесс, ассоциации, экосистемы, надземная и подземная фитомасса.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2023-142-1-95-105>

Введение

В современных условиях интенсивного использования степных экосистем для выпаса скота и других видов хозяйственной деятельности усугубляются процессы опустынивания, что на фоне общей тенденции аридизации климата сопровождается ухудшением их функционирования и ведет к потере продуктивности. Как показывают исследования (Базилевич, Титлянова, 1978; Базилевич, Шмакова Типшкова, 1988, Шатохина, 1986 и др.) это негативно сказывается на биологическом круговороте: уменьшается фитомасса и чистая первичная продукция растительных сообществ, происходят потери углерода в почве и растениях, увеличивается эмиссия CO₂ в атмосферу. При этом, известно, что по параметрам годичной первичной продукции, как главному показателю функционирования, степные экосистемы не имеют себе равных среди зональных типов на континенте Евразии (Базилевич, Титлянова, 1978) [1].

Цель исследований заключается в изучении сезонной динамики биологической продуктивности и продукционно-деструкционных процессов в основных ассоциациях комплексных степей (Иванов, 1958) Западного Казахстана с разными микроклиматическими и экологическими условиями.

Для достижения этой цели решались следующие задачи:

1) выявить роль экологических факторов в сезонной динамике надземной и подземной фитомассы;

2) изучить сопряженность динамики продуктивности надземной (травостой, ветошь, подстилка) и подземной (живые и мертвые корни) фитомассы;

3) установить взаимосвязь биологической продуктивности с климатическими и микроклиматическими условиями.

1. Биологическая продуктивность сообществ комплексных степей зависит как от климатических, так и микроклиматических условий, строения микрорельефа и физико-химических особенностей почв.

2. Сезонная динамика биологической продуктивности сообществ в значительной степени зависит от ритмики развития слагающих их видов.

Впервые изучена биологическая продуктивность надземной и подземной фитомассы основных ассоциаций комплексных степей Западного Казахстана в сезонной динамике во взаимосвязи с гидротермическими показателями. Применение балансовых уравнений минимальной оценки биопродуктивности по методике А.А. Титляновой (1971) позволило рассчитать ряд динамических переменных для системы растения – почва, не поддающихся непосредственному измерению, в частности: прироста надземной фитомассы (Фр), ветоши (Вр), подстилки (Пр), живых корней (Рр), мертвых корней (V), а также минерализации подстилки (Мр) и корней (Wр). Установлено, что основными факторами, лимитирующими процессы биологической продуктивности в растительных сообществах, являются водный и температурный режим экотопов.

Теоретическая значимость работы заключается в получении новых данных по биологической продуктивности и продукционных процессов основных ассоциаций комплексных степей Западного Казахстана, необходимых для анализа биологического круговорота вещества и энергии. Знание продукционных параметров сообществ и их зависимость от гидротермических условий позволят прогнозировать направление сукцессий растительности, что важно для разработки мероприятий по адаптации сельского хозяйства к изменению климата.

Практическая значимость работы заключается в получении необходимых данных по сезонной динамике биопродуктивности, которые являются основой разработки мероприятий по управлению пастбищными ресурсами, обеспечения устойчивой кормовой базы для животноводства и борьбе с опустыниванием и деградацией земель.

Район исследований охватывает участки комплексных степей в пределах равнинной территории Северного Прикаспия в широтной подзоне сухих степей. В административном отношении они расположены в Акжайкском (правобережье р. Жайык, п. Коловертное) и Сырымском (левобережье р. Жайык, п. Кызыл-ту) районах Западно-Казахстанской области. В статье дается характеристика природных условий (геология, рельеф, климат, поверхностные и подземные воды, почвы).

Методология исследования

Объектами исследований являлись основные ассоциации, образующие характерные для Западного Казахстана 3-х членные комплексы степной растительности на древних морских равнинах Прикаспия:

- разнотравно-злаковая (*Stipa capillata*, *S. lessingiana*, *Elytrigia repens*, *Medicago romanica*, *Salvia nemorosa*, *Galium ruthenicum*) на лугово-каштановых почвах микропонижений;

- белополынно-типчаковая (*Festuca valesiaca*, *Artemisia lerhiana*) на каштановых, солонцеватых почвах микроплакоров;

- чернополынная (*Artemisia pauciflora*) на глубокостолбчатых солонцах микроповышений.

Для получения сравнительных данных и выявления влияния микроклиматических факторов на биологическую продуктивность, на обоих участках были выбраны одинаковые сообщества, формирующиеся в сходных экологических условиях и, относящиеся к одной ассоциации. Таким образом, изучена биологическая продуктивность 6-ти сообществ, относящихся к 3-м указанным ассоциациям.

Изучение сезонной динамики биологической продуктивности проводилось на 2-х постоянных участках в течение двух лет (2002-2003 гг.) в период с мая по октябрь. На каждом

участке было заложено по 3 площадки, приуроченные к разным элементам микрорельефа и типам почв.

Перед началом работ по биопродуктивности, на каждой площадке, ежемесячно, проводилось геоботаническое описание сообществ общепринятыми методами (Полевая геоботаника, 1959-1972). Виды растений определялись с использованием «Флоры Казахстана» (1956-1996) и «Иллюстрированного определителя растений Казахстана» (1969, 1972). Латинские названия растений уточнялись по сводке С.К. Черепанова (1995).

Также изучались основные экологические факторы: микрорельеф, микроклимат, режим увлажнения (Волобуев, 1970), тип почв и их физико-химические свойства. Химические анализы почвенных проб проводились в лаборатории Западно-Казахстанского государственного университета с использованием методов из руководства Е.В. Аринушкиной (1970).

Изучение биологической продуктивности проводилось на основе широко используемых методов и рекомендаций (Родин, Ремезов, Базилевич, 1968; Титлянова, 1971, Базилевич, Титлянова, 1978).

Обсуждение

Флора изучалась только в пределах 2-х степных участках, на которых проводились сезонные полустационарные исследования. Задача исследований заключалась в выявлении полного флористического состава изучаемых ассоциаций, эколого-биологических и биоморфологических особенностей видов и их роли в накоплении запасов фитомассы и продукционном процессе.

Всего на участках наблюдений зарегистрировано 100 видов цветковых растений, относящихся к 23 семействам. Наибольшее количество видов относятся к семействам *Asteraceae* - 13 видов, *Poaceae* - 13 видов, *Chenopodiaceae* - 9, *Brassicaceae* - 9, *Rosaceae* - 6, *Lamiaceae* - 5, *Liliaceae* - 5, *Fabaceae* - 4, *Caryophyllaceae* - 4, *Scrophulariaceae* - 4, *Ariaceae* - 4, а остальные 12 семейств представлены 1-4 видами.

По жизненным формам растения распределяются следующим образом: кустарников - 3, полукустарников - 9, травянистых растений - 88 (среди них однолетних - 18, двулетних - 5, многолетних - 65).

По расположению органов возобновления и способов перезимовывания (по Раункиеру) можно судить о структуре растительности и адаптационных реакциях видового состава растительного сообщества. Преобладающее количество видов относится к гемикриптофитам (62 вида), терофитов-20, геофитов-6, хамефитов-9 (полукустарнички), фанерофитов-3 (кустарники).

По экологическим типам во флоре изучаемого района преобладают ксерофиты и мезоксерофиты 62 вида, они господствуют в сложении зональных степных сообществ. К мезофитам и ксеромезофитам относятся 38 видов, которые предпочитают условия дополнительного увлажнения [2].

Принадлежность видов к определенным экобиоморфам и типам ареалов отражена в списке флоры, где также указана их хозяйственное значение.

Участки исследований приурочены к равнинным территориям с характерным строением микрорельефа, в котором выражены следующие элементы: микропонижения, микроплакоры, микроповышения и бугорки-сусликовины. Каждому элементу микрорельефа соответствует своеобразный набор растительных сообществ, тип почв, а также особенности гидротермических условий. На каждом участке продуктивность изучалась в сообществах, относящихся к разным ассоциациям.

Разнотравно-дерновиннозлаковая ассоциация (лугово-степная) на лугово-каштановых почвах. Сообщества этой ассоциации приурочены к блюдцеобразным западинам - микропонижениям, глубиной 10-25 см и более, в которых аккумулируется дополнительная влага. Они обычно округлой формы, иногда соединяются в цепочки-протоки. Общий флористический состав ассоциации насчитывает 69 видов.

Участок 1 (Акжайикский район). Сообщество разнотравно-злаковое с таволгой. Доминирующие виды: *Stipa capillata*, *S. lessingiana*, *Elytrigia repens*, *Medicago romanica*, *Salvia*

nemorosa, *Galium ruthenicum*, *Spiraea hypericifolia*. Также в значительном обилии встречаются: *Bromopsis inermis*, *Glycyrrhiza glabra*, *Poa pratensis*, *Carex stephophylla*, *Artemisia dracunculus*. Проективное покрытие составляет 90-100%.

Участок 2 (Сырымский район). Сообщество разнотравно-злаковое, Доминирующие виды: *Stipa lessingiana*, *Stipa capillata*, *Glycyrrhiza glabra*. Также обильны *Stipa sareptana*, *Agropyron pectinatum*, *Koeleria cristata*, *Elytrigia repens*, *Salvia nemorosa*, *Carex praecox*, *Spiraea hypericifolia*. Проективное покрытие почвы растениями – 80-90%.

Белополынно-типчаковая ассоциация (сухостепная) на каштановых солонцеватых почвах микроплакоров. Общее число видов флоры -38.

Участок1(Акжайикский район). Сообществобелополынно-типчаковое. Доминирующие растения – *Festuca valesiaca*, *Artemisia lerchiana*. Также встречаются *Kochia prostrata*, *Koeleria cristata*, *Poa bulbosa*, *Tanacetum achilleifolium*, *Agropyron desertorum*. Проективное покрытие 60-70%.

Участок 2 (Сырымский район). Сообщество белополынно-типчаковое с прутняком. Доминирующие растения – *Festuca valesiaca*, *Artemisia lerchiana*, *Kochia prostrata*. Высокое обилие имеют *Poa bulbosa*, *Tanacetum achilleifolium*, *Limonium gmelinii*, *Jurinea multiflora*, *Crinitaria villosa*, *C. tatarica*, *Serratula erucifolia*. Весной встречаются эфемеры и эфемероиды: *Tulipa schrenkii*, *Tulipa biebersteiniana*, *Ornithogalum fischerianum*. Проективное покрытие - 50-60%.

Чернополынная ассоциация (пустынно-степная), образована сообществами полыни черной (*Artemisia pauciflora*), преимущественно монодоминантными, на микроповышениях с глубокостволбчатыми солонцами. Общий флористический состав ассоциации насчитывает 14 видов.

Участок 1 (Акжайикский район). Сообщество чернополынное, наряду с полынью черной в составе сообщества присутствуют в разном обилии следующие виды: *Artemisia lerhiana*, *Poa bulbosa*, *Alyssum turkestanicum*, *Leymus ramosus*, *Limonium gmelinii*. Проективное покрытие - 40-60%.

Участок 2 (Сырымский район). Сообщество чернополынное с эфемероидами. Наряду с полынью черной в составе сообществ присутствуют в разном обилии следующие виды: *Artemisia lerhiana*, *Ferula tatarica*, *Poa bulbosa*, *Ceratocephala testiculata*, *Ranunculus polyrhizus*, *Alyssum turkestanicum*, *Lepidium perfoliatum*, *Leymus ramosus*. Проективное покрытие - 30-50%.

Анализ годового распределения количества осадков и температуры воздуха показал, что в 2002 г. наблюдалось резкое колебание количества осадков. В течении вегетационного сезона было 3 пика: в марте (45мм), июне (40 мм) и сентябре - октябре (75 мм). Минимальное количество осадков отмечено в июле-августе. Кривая температуры воздуха равномерная, с максимумом в июле. Таким образом, в 2002 г. весна была влажная и теплая, лето – засушливое и жаркое, а осень теплая и дождливая. В 2003 г., напротив, минимальное количество осадков было в начале вегетации (апрель-май), максимум отмечен в июле, а минимум в сентябре, а в октябре количество осадков незначительно повысилось.

Температура воздуха резко повысилась в марте-апреле, а мае-июне удерживалась на одном уровне, максимума достигла в конце июля, затем плавно понижалась. Таким образом, в 2003 г. экстремальным периодом для растений была весна с низкой температурой воздуха и отсутствием осадков. Наиболее благоприятными были май и июнь, а июль-август были дождливыми и прохладными. Осенью отмечалось быстрое понижение температуры уже с сентября, при малом количестве осадков.

Режим увлажнения на участках характеризует величина гидрофактора (Hf), рассчитанная с использованием методов Л.Д. Мозесона (1955) и В.Р. Волобуева (1970). Она показывает эффективную увлажненность почв, значения которой в годы исследований были следующими: На участке 1 в 2002 г. Hf = 101,3, а в 2003 г. Hf = 112,7. На участке 2 в 2002 г. Hf = 97,0, а в 2003 г. Hf = 111,3. Это означает, что 2002 г. был средний по влажности, а 2003 г. – влажный.

Нами установлено, что каждая ассоциация, в зависимости от элемента микро рельефа характеризуется определенной температурой и влажностью воздуха (Табл.1). Из таблицы

1 видно, что температура и влажность нижних слоев воздуха и верхних горизонтов почвы по элементам рельефа заметно различаются. Наиболее низкие температуры за все месяцы, на высоте 150 см, отмечены в микропонижениях, а высокие на микроповышениях. Показатели влажности всегда выше на поверхности почвы, чем на высоте 150 см [3].

Таблица 1

**Микроклиматические условия участка 1 в 2002 г.
(влажность W % и температура воздуха t °C)**

Месяц	Разнотравно-злаковая (микропонижение)				Белопопынно-типчаковая (микроплакор)				Чернопопынная (микроповышение)			
	На поверх. почвы		На высоте 150 см		На поверх. почвы		На высоте 150 см		На поверх. почвы		На высоте 150 см	
	W%	t°C	W %	t°C	W%	t°C	W%	t°C	W %	t°C	W%	t°C
V	88	21	85	20	81	22	78	20	65	24	68	23
VI	92	24	89	23	73	25	70,8	24	56	27	58	26
VII	78	27	74	26	69	28	64	27	27	37	29	28
VIII	75	23	74	22	65	23	73	22	58	23	62	22
IX	86	17	84	15	83	18	84	17	68	19	65	18
X	94	7	93	6	89	8	83	7	76	6	79	5

Разнотравно-злаковая ассоциация в летний период характеризуется более низкими температурными показателями в травостое и верхних почвенных горизонтах (Табл.1.) и отличается меньшими перепадами температур по сравнению с другими участками. Сглаживанию температурного режима почвы здесь способствует накопление подстилки толщиной от 1 до 3 см. Влияние подстилки на тепловой режим приземных слоев воздуха и поверхности почвы отмечалось также в белопопынно-типчаковой ассоциации, но почва здесь слабее защищена подстилкой.

Самая высокая температура воздуха отмечалась в травостое чернопопынной ассоциации в летний период. Максимальная температура у поверхности почвы в июле была 37°C, а минимальная в октябре – 6°C, так как на поверхности почвы практически отсутствует подстилка. Таким образом, на увлажнение приземного слоя воздуха большое влияние оказывает не только густота травостоя, но и наличие мертвых остатков, так как они снижают нагрев верхних горизонтов почвы.

Расчеты показали, что микропонижения получают дополнительно 50% осадков, микроплакоры – 25%, а микроповышения теряют 75% осадков в вегетационный период. Количество осадков, которые получили микроплакоры, соответствуют годовым суммам по данным метеостанций [4].

Разнотравно-злаковая ассоциация отличается наиболее высокими запасами органического вещества. (Табл. 2, 3). Продуктивность биомассы, как надземной, так и подземной, очень изменчива по годам и тесно связана с количеством весенних осадков. Максимум накопления надземной фитомассы (Ф) приходится на июнь. Во влажном 2003 г. показатели продуктивности более высокие, включая осенние месяцы, благодаря прохладному лету и обилию осадков в летний период. Это обусловило хорошее жизненное состояние растений. В целом значительной разницы в продуктивности надземной фитомассы по участкам не наблюдается (Табл.2,3), благодаря приуроченности к понижениям рельефа и наличию дополнительного увлажнения.

В подземной части (R+V) запасы фитомассы больше на участке 1, что связано с участием в сообществе кустарников (*Spiraea hypericifolia*) и большим обилием корневищных многолетников. В результате их малого обилия на участке 2 здесь накапливается меньше ветоши и подстилки [5].

Таблица 2

**Динамика продуктивности надземной и подземной фитомассы
основных ассоциаций на участке 1 (междуречье р. Жайык-Кушум, Акжайыкский район), ц/га**

Месяц	Ф*		В		П		R		V		R+V	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003
	Разнотравно-злаковая ассоциация на лугово-каштановых почвах											
Май	22,7	27,7	12,9	1,2	120,1	140,9	70,1	58,3	79,5	78,7	149,6	136,9
Июнь	99,7	104,4	38,1	28,9	112,7	195,9	78,3	21,4	60,3	14,1	138,6	35,4
Июль	52,3	46,3	20,3	16,2	93,1	85,75	23,1	24,1	26,7	25,1	49,8	49,1
Август	19,7	18,8	25,7	13,1	101,9	95,2	20,7	21,2	28,1	65,6	48,8	86,7
Сентяб.	47,2	61,3	13,9	1,1	98,3	81,5	25,1	22,0	81,9	58,9	107,1	80,9
	Белопопынно-типчаковая ассоциация на каштановых солонцеватых почвах											
Май	30,7	19,7	16,9	12,8	19,9	22,1	9,2	10,2	10,9	10,2	20,8	20,4
Июнь	37,1	29,9	18,2	14,9	29,1	25,3	10,7	9,9	8,9	9,7	19,6	19,7
Июль	21,01	14,5	41,0	30,1	20,9	20,1	15,7	13,1	17,2	15,3	32,9	28,4
Август	29,3	22,5	22,2	11,2	22,3	24,8	12,0	11,1	25,7	23,6	37,7	34,6
Сентяб.	32,6	44,3	9,1	2,0	38,7	40,1	8,7	10,9	18,3	14,2	27,0	15,3
	Чернопопынная ассоциация на солонце глубокоголбчатом											
Май	41,92	32,1	15,2	12,0	23,1	19,0	10,7	13,1	13,0	15,1	23,7	28,2
Июнь	48,01	16,8	17,8	18,1	28,7	28,1	16,6	14,1	11,2	8,9	27,8	23,0
Июль	30,01	12,1	22,1	27,1	21,3	8,8	10,2	11,3	12,7	17,1	22,9	29,2
Август	35,75	29,3	10,4	9,7	27,4	30,3	14,3	7,9	10,7	15,0	25,0	22,9
Сентяб.	36,01	42,8	8,9	0,5	6,6	3,4	8,2	9,6	13,9	17,0	22,1	26,6

*Ф – надземная фитомасса, В – вегетация, П – подстилка, R – живые корни, V – мертвые корни.

Таблица 3

**Динамика продуктивности надземной и подземной фитомассы
основных ассоциаций на участке 2 (правобережье р. Жайык, Сырымский район), ц/га**

Месяц	Ф*		В		П		R		V		R+V	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003
	Разнотравно-злаковая ассоциация на лугово-каштановых почвах											
Май	29,3	30,1	2,0	11,9	3,7	47,7	14,1	22,1	16,1	27,2	30,2	49,3
Июнь	44,0	99,8	3,9	31,5	8,8	179,1	4,8	18,9	7,1	17,0	11,9	35,9
Июль	47,2	51,9	4,0	16,1	8,8	76,8	11,0	20,5	9,3	19,9	20,4	40,4
Август	48,3	55,3	8,9	19,8	11,9	83,2	9,1	19,7	15,9	49,9	24,9	69,6
Сентяб.	50,0	57,1	13,0	23,1	15,0	92,1	7,0	17,9	19,7	68,7	26,8	86,6
Октяб.	62,9	58,2	6,1	4,0	30,1	87,0	8,7	18,1	20,6	52,1	29,3	70,2
	Белопопынно-типчаковая ассоциация на каштановых солонцеватых почвах											
Май	86,7	67,0	16,1	20,9	58,9	71,0	14,7	79,5	10,2	106,7	24,9	186,2
Июнь	73,2	53,5	18,5	37,3	49,2	46,3	15,1	22,5	10,7	97,5	26,8	120,0
Июль	98,6	94,3	10,2	11,0	59,3	68,9	11,2	3,8	13,7	6,15	24,9	9,9
Август	82,3	68,5	9,3	19,8	49,4	40,2	10,5	5,7	12,3	7,3	22,8	13,0
Сентяб.	74,1	58,3	11,1	10,6	53,1	20,8	9,8	3,7	14,8	4,8	24,8	8,5
	Чернопопынная ассоциация на солонце глубокоголбчатом											
Май	25,8	28,1	5,3	4,7	6,9	7,1	15,0	16,2	13,3	12,9	28,3	29,1
Июнь	27,3	31,6	4,7	4,1	4,4	6,2	9,5	10,3	5,8	6,9	15,3	17,2
Июль	28,4	16,8	4,8	3,7	14,8	19,0	15,4	15,7	3,5	4,7	18,9	20,4
Август	26,9	16,1	3,9	2,9	16,2	21,0	9,6	9,8	9,8	19,8	19,4	29,6
Сентяб.	31,2	32,8	2,1	2,7	23,7	24,2	12,5	14,1	14,1	15,1	26,6	29,2

*Ф – надземная фитомасса, В – ветошь, П – подстилка, R – живые корни, V – мертвые корни.

Выводы

Биологическая продуктивность растительности степей является важнейшим элементом круговорота вещества и энергии, гумификации почв и пастбищных ресурсов. Изучение компонентов биопродуктивности в сезонной динамике и взаимосвязи с экологическими условиями позволяет установить закономерности продукционно-деструкционных процессов в сообществах, знание которых необходимо для рационального использования и управления степными экосистемами. Проведенные исследования позволили получить новые данные о функционировании распространенных в Западном Казахстане экосистем комплексных сухих степей и сделать следующие выводы:

1. Устойчивость степных сообществ зависит от запасов надземной и подземной фитомассы и естественного процесса минерализации отмерших вегетативных органов растений.

2. Для равнинных территорий Западного Казахстана характерна комплексная структура почвенно-растительного покрова, обусловленная особенностями строения микрорельефа. Исследования показали, что незначительные колебания высоты рельефа играют большую роль в перераспределении тепла и влаги, соответственно, биопродуктивности травостоев. Расчеты показали, что микропонижения получают дополнительно 50% осадков, микросклоны – 25%, а микроповышения теряют 75% осадков в вегетационный период. Количество осадков, которые получили микроплакоры, соответствуют годовым суммам по данным метеостанций.

3. Основные ассоциации степного комплекса представляют следующий ряд ухудшения гидротермических условий и уменьшения биопродуктивности: разнотравно-злаковая на лугово-каштановых почвах микропонижений --- белопопынно-типчачковая на каштановых почвах микроплакоров --- чернопопынная на солонцах глубокостолбчатых микроповышений.

5. Сравнительный анализ биологической продуктивности в одних и тех же ассоциациях показал, что значительную роль в сезонной динамике продуктивности играет флористический состав и видовое богатство сообществ, а также наличие групп растений с разными ритмами сезонного развития и различным строением корневой системы.

6. Продукционный процесс тесно связан с почвенными, климатическими и микроклиматическими условиями. Самый высокий прирост биомассы зарегистрирован в разнотравно-злаковой и белопопынно-типчачковой ассоциациях. Низкая интенсивность продукционно-деструкционного процесса отмечена в чернопопынной ассоциации (прирост биомассы, прибавка ветоши, подстилки и мертвых корней).

Список литературы

1. Мендыбаев Е.Х., Атаева Г.М. Современное состояние почв пустынно-степного комплекса Северного Прикаспия // В сб. «Стратегия природопользования и сохранения биоразнообразия в XXI веке, материалы Всероссийской научно-молодежной конференции. - Оренбург, 1999. – С.70-71.
2. Мендыбаев Е.Х., Атаева Г.М. Динамика основных ассоциаций пустынно-степного комплекса Прикаспия // Биоразнообразия и биоресурсы Урала и сопредельных территорий. Материалы международной конференции. – Оренбург, 2001. – С.130-131.
3. Mazhitova G. Z., Janaleyeva K. M., Berdenov Z. G., Doskenova B. B., Atasoy E. Assessment of the sustainability of landscapes of the North-Kazakhstan region to agricultural impact // NEWS of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. - Kazakh national research technical university named after K. I. Satpayev.- 2018. -V.3. № 429. - P. 90 – 95.
4. Атаева Г.М., Мендыбаев Е.Х. Зависимость сезонной динамики продукционно-деструкционного процесса от климатических и микроклиматических условий ковыльно-типчачковой ассоциации

// Реализация стратегии индустриально инновационного развития РК: «Проблемы подготовки инженерно-технических кадров «Региональная научно-практическая конференция. – Актобе, 2006. – С.109-111.

5. Ramazanova N., Berdenov Zh., Ramazanov S., Kazangapova N., Romanova S., Toksanbaeva S., Jan Wendt. Landscape-geochemical analysis of Steppe zone Basin Zhaiyk // NEWS of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. - Kazakh national research technical university named after K. I. Satpayev.- 2019. - Volume 4. № 436. - P. 33-41.

6. Chashina B., Ramazanova N., Atasoy E., Berdenov Zh., & Iіieş D.C. Natural recreation potential of the West Kazakhstan region of the Republic of Kazakhstan // GeoJournal of Tourism and Geosites.- 2020. – №32(4). – P. 1355–1361. <https://doi.org/10.30892/gtg.32424-580>.

7. Атаева Г.М., Мендыбаев Е.Х. Характеристика почвенного покрова степной зоны Северного Прикаспия // Материалы пятого международного симпозиума «Степи Северной Евразии». Том 1–Оренбург, 2009. – С.133-136.

8. Огарь Н.П., Атаева Г.М., Сквирская Н.Н., Мендыбаев Е.Х. Критерии оценки степени трансформации степной и пустынной растительности // Вестник Семипалатинского государственного университета им. Шакарима. - 2010. - №3 (51). – С. 50-53.

9. Berdenov Z., Mendybayev E., Beketova A., Satkarova N., & Gozner M. Assessment of the Southern Urals recreational potential for the development of the Aktobe tourism industry // GeoJournal of Tourism and Geosites.- 2021. - № 38(4). – P. 1274-1279. <https://doi.org/10.30892/gtg.38435-769>.

Г.М. Атаева

К. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

Батыс Қазақстан далалары негізгі бірлестіктерінің биологиялық өнімділігінің маусымдық динамикасы

Аңдатпа. Жұмыста Батыс Қазақстанның күрделі далаларының негізгі бірлестіктерінің биологиялық өнімділігінің маусымдық динамикасын зерттеу бойынша автордың өзіндік зерттеулерінің нәтижелері берілген. Әртүрлі экологиялық және микроклиматтық жағдайларда жер үсті және жер асты фитомассаларының маусым мезгілінде жиналуы қарастырылады, сонымен қатар өсімдіктер бірлестігіндегі өндірістік-деструкция процестері талданады. Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері бойынша далалық экожүйені сақтау және вегетациялық кезеңде, оның ішінде әртүрлі гидротермиялық режимдегі жылдардағы жайылымдық жерлерді тиімді пайдалану бойынша ұсыныстар әзірленді.

Дала өсімдіктерінің биологиялық өнімділігі климаттық факторлармен ұштасып, ғасырлар бойы егіншілік пен мал шаруашылығының негізгі астық қоймасы болып табылатын дала зонасы топырағының құнарлылығын қамтамасыз етеді. Қазақстан далаларының дерлік фронтальды жырттылуы 70%-дан астамға дала өсімдіктерінің кең аумақтарда өзгеруіне ықпал етті.

Түйін сөздер: биологиялық өнімділік, өндіріс-жойылу процесі, бірлестіктер, экожүйелер, жер үсті және жер асты фитомассалары.

G.M. Ataeva

K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan

Seasonal dynamics of biological productivity the main associations of the steppes of West Kazakhstan

Abstract. The work presents the results of the author's own research on the study of seasonal dynamics of biological productivity of the main associations of the complex steppes of Western Kazakhstan. In various ecological and microclimatic conditions, the accumulation of above-ground and underground phytomass during the season is considered, as well as the production and destruction processes in plant communities are analyzed. Based on the results of the research, recommendations were developed for the preservation

of steppe ecosystems and the rational use of pasture lands during the growing season, including in years with different hydrothermal regimes.

The biological productivity of vegetation, in combination with climatic factors, has ensured the fertility of the soils of the steppe zone for centuries, which is the main granary of agriculture and animal husbandry. Practically frontal plowing of the steppe of Kazakhstan, more than 70%, contributed to the transformation of steppe vegetation on large areas.

Keywords: biological productivity, production-destruction process, associations, ecosystems, above-ground and underground phytomass.

References

1. Mendybaev E.H., Ataeva G.M. Sovremennoe sostoyanie pochv pustynno-stepnogo kompleksa Severnogo Prikaspiya, V sb. «Strategiya prirodopol'zovaniya i sohraneniya bioraznoobraziya v XXI veke, materialy Vserossijskoj nauchno-molodezhnoj konferencii [The current state of the soils of the desert-steppe complex of the Northern Caspian, In the collection "Strategy of nature management and biodiversity conservation in the XXI century, materials of the All-Russian Scientific and Youth Conference], Orenburg, 70-71 (1999). [in Russian]
2. Mendybaev E.H., Ataeva G.M. Dinamika osnovnyh asociacij pustynno-stepnogo kompleksa Prikaspiya, Bioraznoobraziya i bioresursy Urala i sopredel'nyh territorij. Materialy mezhdunarodnoj konferencii [Dynamics of the main associations of the desert-steppe complex of the Caspian Sea, Biodiversity and bioresources of the Urals and adjacent territories. Materials of the international conference], Orenburg, 130-131 (2001). [in Russian]
3. Mazhitova G. Z., Janaleyeva K. M., Berdenov Z. G., Doskenova B. B., Atasoy E. Assessment of the sustainability of landscapes of the North-Kazakhstan region to agricultural impact, NEWS of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. - Kazakh national research technical university named after K. I. Satpayev, 3 (429), 90 – 95(2018).
4. Ataeva G.M., Mendybaev E.H. Zavisimost' sezonnoj dinamiki produkcijno-destrukcionnogo processa ot klimaticheskikh i mikroklimaticheskikh uslovij kovyl'no-tipchakovoj asociacii, Realizaciya strategii industrial'no innovacionnogo razvitiya RK: «Problemy podgotovki inzhenerno-tehnicheskikh kadrov «Regional'naya nauchno-prakticheskaya konferenciya [Dependence of seasonal dynamics of the productive and destructive process on climatic and microclimatic conditions of the kovyl'no-tipchak association, Implementation of the strategy of industrial and innovative development of the Republic of Kazakhstan: "Problems of training engineering and technical personnel" Regional scientific and practical conference], Aktobe, 109-111 (2006). [in Russian]
5. Ramazanova N., Berdenov Zh., Ramazanov S., Kazangapova N., Romanova S., Toksanbaeva S., Jan Wendt. Landscape-geochemical analysis of Steppe zone Basin Zhaiyk, NEWS of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. - Kazakh national research technical university named after K. I. Satpayev, 4 (436), 33-41(2019).
6. Chashina, B., Ramazanova, N., Atasoy, E., Berdenov, Zh., & Ilies, D.C. Natural recreation potential of the West Kazakhstan region of the Republic of Kazakhstan, GeoJournal of Tourism and Geosites, 32(4), 1355–1361(2020). <https://doi.org/10.30892/gtg.32424-580>.
7. Ataeva G.M., Mendybaev E.H. Harakteristika pochvennogo pokrova stepnoj zony Severnogo Prikaspiya, Materialy pyatogo mezhdunarodnogo simpoziuma «Stepi Severnoj Evrazii» [Characteristics of the soil cover of the steppe zone of the Northern Caspian, Materials of the fifth International Symposium "Steppes of Northern Eurasia"], Orenburg, 1, 133-136 (2009). [in Russian]
8. Ogar' N.P., Ataeva G.M., Skvirskaya N.N., Mendybaev E.H. Kriterii ocenki stepeni transformacii stepnoj i pustynnoj rastitel'nosti, Vestnik Semipalatinskogo gosudarstvennogo universiteta im. Shakarima [Criteria for assessing the degree of transformation of steppe and desert vegetation, Bulletin of Semipalatinsk State University named after Shakarima], 3 (51), 50-53 (2010). [in Russian]
9. Berdenov Z., Mendybayev E., Beketova A., Satkarova N., Gozner M. Assessment of the Southern Urals recreational potential for the development of the Aktobe tourism industry, GeoJournal of Tourism and Geosites, 38(4), 1274-1279(2021). <https://doi.org/10.30892/gtg.38435-769>.

Сведения об авторах:

Атаева Г.М. – биология ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университетті, А.Молдағұлова даңғылы, 34, Ақтөбе, Қазақстан.

Atayeva G.M. – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, K. Zhubanov Aktobe Regional University, A. Moldagulova avenue, 34, Aktobe, Kazakhstan.

С.С. Байшоланов¹, Н.А. Оралбекова²

Международный университет «Астана», Астана, Казахстан
(E-mail: n.oralbekova@inbox.ru²)

Автор для корреспонденции: ¹saken_baisholan@mail.ru

Особенности агрометеорологических условий в Туркестанской области

Аннотация. *Анализируются тенденции изменения агрометеорологических показателей в Туркестанской области за период с 1991 по 2022 год. Наблюдается тенденция роста суммы температуры воздуха за вегетационный период, тенденция снижения суммы осадков за вегетационный период, тенденция снижения значений коэффициента увлажнения К и индекса засухи ГТК. Такие условия предполагают рост теплообеспеченности вегетационного периода, рост количества жарких дней, снижение влагообеспеченности и усиление засушливости вегетационного периода. Годы с благоприятными погодными условиями имеют повторяемость 30 % в горной полупустынной зоне. Годы с удовлетворительными погодными условиями имеют повторяемость 20% в горной полупустынной зоне и 10 % в горной пустынной зоне. Годы с неблагоприятными погодными условиями имеют повторяемость 100 % в пустынной зоне, 90 % в горной пустынной зоне и 50 % в горной полупустынной зоне.*

Ключевые слова: *осадки, температура воздуха, вегетационный период, влагообеспеченность, засушливость.*

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2023-142-1-106-118>

Введение

В Туркестанской области развито сельское хозяйство, в том числе растениеводство. Согласно данным Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан, в Туркестанской области посевные площади составляют 845 тыс. га, в том числе под зерновые и бобовые культуры – 305 тыс. га, под хлопчатник – 110 тыс. га, под масличные культуры – 86 тыс. га, под овощей открытого грунта – 43 тыс. га.

Рост, развитие и формирование урожайности сельскохозяйственных культур зависит от почвенного покрова и агрометеорологических условий.

Целью настоящей работы является исследование особенностей агрометеорологических условий в Туркестанской области. Были анализированы агрометеорологические показатели и их тенденции изменения за период 1991-2022 годы, а также определена повторяемость благоприятных и неблагоприятных год по погодным условиям для ведения земледелия.

Аналогичные исследования по северным областям Казахстана освещены в работах [1, 2], где приведены оценки агрометеорологических условий вегетационного периода и их связь с урожайностью яровой пшеницы в Северо-Казахстанской и Акмолинской областях.

Работа выполнена в рамках научно-технической программы программно-целевого финансирования Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан на 2021–2023 годы BR10764908 «Разработать систему земледелия возделывания сельскохозяйственных культур (зерновых, зернобобовых, масличных и технических культур) с применением элементов технологии возделывания, дифференцированного питания, средств защиты

растений и техники для рентабельного производства на основе сравнительного исследования различных технологий возделывания для регионов Казахстана».

Материалы и методы исследования

В исследовании использовались данные метеорологических станций (МС) РГП «Казгидромет» Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан (МЭПР РК) за период с 1991 по 2022 год.

Многолетние данные были обработаны общепринятыми методами статистической обработки данных.

Были рассчитаны следующие агрометеорологические показатели:

- сумма осадков за холодный период года (октябрь–апрель), которая формирует весенние запасы влаги в почве;
- сумма осадков за вегетационный период ранних яровых культур (май–июль);
- сумма эффективных температур воздуха выше 5°C за вегетационный период ранних яровых культур (май–июль), которая характеризует теплообеспеченность;
- коэффициент увлажнения K , который характеризует влагообеспеченность вегетационного периода;
- Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК), который характеризует засушливость вегетационного периода.

Надо отметить, что из-за недостаточности данных не рассматривались запасы продуктивной влаги в почве.

Для оценки влагообеспеченности и засушливости вегетационного периода широко используются различные коэффициенты и индексы. Например, коэффициенты увлажнения Н.В. Бова и Н.Г. Грибковой, Л.С. Кельчевской, Л.С. Кельчевской и Ю.С. Мельника, Е.С. Улановой, Д.А. Бринкена, С.А. Сапожниковой и Ю.И. Чиркова, показатели влагообеспеченности П.И. Колоскова, Н.Н. Иванова, Д.И. Шашко, М.И. Будыко, А.П. Федосеева, Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) [3, 4], индекс Палмера (Palmer Drought Severity Index), стандартизированный индекс осадков (Standardized Precipitation Index), стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index), индекс запаса поверхностной влаги (SWSI) [5], а также агрометеорологический коэффициент увлажнения (АКУ) [6].

В работе [7] указывается на погрешность стандартизированного индекса осадков (SPI) при мониторинге засухи в Казахстане.

В работе [8] для определения засухи в южной части России используются индексы ГТК, SPI, SPEI и PDSI. Выяснилось, что для определения засухи наиболее подходит ГТК. При этом для более точного определения засухи по ГТК предлагается в зависимости от зоны увлажнения использовать разные градации оценки.

В настоящей работе влагообеспеченность вегетационного периода нами оценивалась по коэффициенту увлажнения K , предложенного Байшолановым С.С., а засушливость вегетационного периода – по ГТК, которые наиболее подходят для условия Казахстана [9]:

$$K = \frac{0,5 \sum R_{11-4} + \sum R_{5-8}}{0,12 \sum T_{5-8}} \quad (1)$$

$$ГТК = \frac{\sum R_{5-8}}{0,1 \sum T_{5-8}} \quad (2)$$

где $\sum R_{11-4}$ – сумма осадков за ноябрь–апрель; $\sum R_{5-8}$ – сумма осадков за май–август; $\sum T_{5-8}$ – сумма суточных температур воздуха выше 10 °C за май–август.

Так как, в Туркестанской области посев яровых зерновых культур проводится раньше, и они созревают раньше, чем на севере республики, при расчете K и ГТК учитываются осадки и температура воздуха по июль месяц. Для теплолюбивых культур с длинным

вегетационным периодом можно использовать данные по август месяц.

В условиях Казахстана используются следующие градации критериев оценки К и ГТК:

Критерий оценки влагообеспеченности по К:

$K < 0,20$ – сухо;

$K = 0,20 - 0,39$ – сильный дефицит влаги;

$K = 0,40 - 0,59$ – умеренный дефицит влаги;

$K = 0,60 - 0,79$ – недостаточная влагообеспеченность;

$K = 0,80 - 0,99$ – достаточная, но не устойчивая влагообеспеченность;

$K \geq 1,00$ – оптимальная и устойчивая влагообеспеченность.

Критерий оценки засушливости (засухи) по ГТК:

$ГТК < 0,20$ – сухо;

$ГТК = 0,20 - 0,39$ – сильно засушливо;

$ГТК = 0,40 - 0,59$ – умеренно засушливо;

$ГТК = 0,60 - 0,79$ – слабо засушливо;

$ГТК \geq 0,80$ – не засушливо

Результаты и обсуждение

Анализ агрометеорологических условий проводился отдельно по природным зонам области. Территориальное распределение природных зон проводился согласно карты природно-сельскохозяйственного районирования Казахстана [10].

На территории Туркестанской области выделяются 3 природно-сельскохозяйственные зоны (далее природные зоны) (таблица 1):

1. Пустынная (Присырдаринская провинция);
2. Горная пустынная (Северо-Тянь-Шаньская провинция);
3. Горная полупустынная (Юго-западно-Тянь-Шаньская провинция).

К равнинной пустынной зоне территориально относятся юг Созакского района, равнинная часть Сауранского, г.а. Арыс, Шардаринский, Мактааральский, Отырарский, Ордабасинский, Сарыагашский, Жетысайский и Келесский районы.

К горной пустынной зоне территориально относятся горная часть Сауранского района, Сайрамский и Байдибекский районы, а также западная часть Казыгуртского района.

К горной полупустынной зоне территориально относятся Тюлькубасский и Тoleбийский районы, а также восточная часть Казыгуртского района.

Для характеристики агрометеорологических условий природных зон были использованы усредненные данные соответствующих метеорологических станций, где развито земледелие.

Таблица 1. Распределение районов и метеорологических станций Туркестанской области по природно-сельскохозяйственным зонам

Природная зона	Район	МС
Пустынная (Присырдаринская провинция)	Созакский (юг)	Шолаккорган (480 м)
	Сауранский (равнина)	Туркестан (206 м)
	г.а. Арыс	Арыс (238 м)
	Шардаринский	Шардара (271 м)
	Мактааральский	Жетысай (255 м)
	Отырарский	
	Ордабасинский	
	Сарыагашский	
	Жетысайский	
	Келесский	

Горная пустынная (Северо-Тянь-Шаньская провинция)	Сауранский (горы) Байдибекский Сайрамский Казыгуртский (запад)	Ащысай (820 м) Шаян (366 м) Шымкент (606 м) Казыгурт (575 м)
Горная полупустынная (Юго-западно-Тянь-Шаньская провинция)	Тюлькубасский Толембийский Казыгуртский (восток)	Т. Рыскулов (809 м) Тасарык (1122 м)

Для анализа агрометеорологические показатели усреднялись по метеорологическим станциям, расположенным в соответствующих природно-сельскохозяйственных зонах.

В таблице 2 приведены осредненные за 32 летний период (1991-2022 гг.) значения суммы осадков за октябрь-апрель (ΣR_{10-4}), суммы осадков за май-июль (ΣR_{5-7}), суммы эффективных температур воздуха выше 5°C за май-июль (ΣT_{5-7}), коэффициента увлажнения К и индекса засухи ГТК по природным зонам области.

Таблица 2. Средние значения агрометеорологических показателей

Природная зона	ΣR_{10-4} мм	ΣR_{5-7} мм	ΣT_{5-7} °C	К	ГТК
Пустынная	193	35	1910	0,44	0,15
Горная пустынная	408	70	1732	1,01	0,33
Горная полупустынная	553	128	1464	1,69	0,70

Сумма осадков за холодный период года (октябрь-апрель) на территории области растет от пустынной зоны к горной полупустынной зоне от 193 до 553 мм (таблица 2).

Надо отметить, что в отличие от Северного Казахстана, на юге Казахстана атмосферные осадки выпадают в основном в холодный период года, а их минимум наблюдается летом.

Сумма осадков за холодный период года за последние 32 года колебалась в широких пределах, и имела слабую тенденцию снижения в горной полупустынной зоне, а в пустынной и горной пустынной зонах – слабую рост. В целом можно сказать, что за 32-летний период количество осадков за холодный период года почти не изменилось. Для определения общей тенденции изменения, линий трендов были описаны уравнением прямой, где коэффициенты детерминации (R^2) составляют 0,0005-0,0091 (рисунок 1).

Небольшие значения коэффициента детерминации объясняются большой изменчивостью из года в год рядов суммы осадков. Коэффициенты вариации многолетних рядов суммы осадков составляют в пустынной зоне – 23 %, в горной пустынной зоне – 18%, в горной полупустынной зоне – 17 %.

Согласно коэффициенту вариации, многолетние ряды суммы осадков за холодный период года являются достаточно однородными, но средне изменчивыми в 2 зонах и сильно изменчивым в пустынной зоне.

Коэффициент вариации позволяет судить об однородности и изменчивости (колеблемости) многолетнего ряда. При коэффициенте вариации менее 17 % – ряд считается абсолютно однородным, при 17-33 % – достаточно однородным, при 34-40 % – недостаточно однородным, при более 40% – не однородным.

Ряд является сильно изменчивым, если коэффициент вариации превышает 20 % (менее 10% – слабо изменчивый, 10-20 % - средне изменчивый).

В последние 2 года за осенне-зимний период выпало осадков около и ниже нормы. В 2022 году выпало осадков чуть больше, чем в 2021 году. Такие условия были удовлетворительными для формирования весенних запасов влаги в почве.

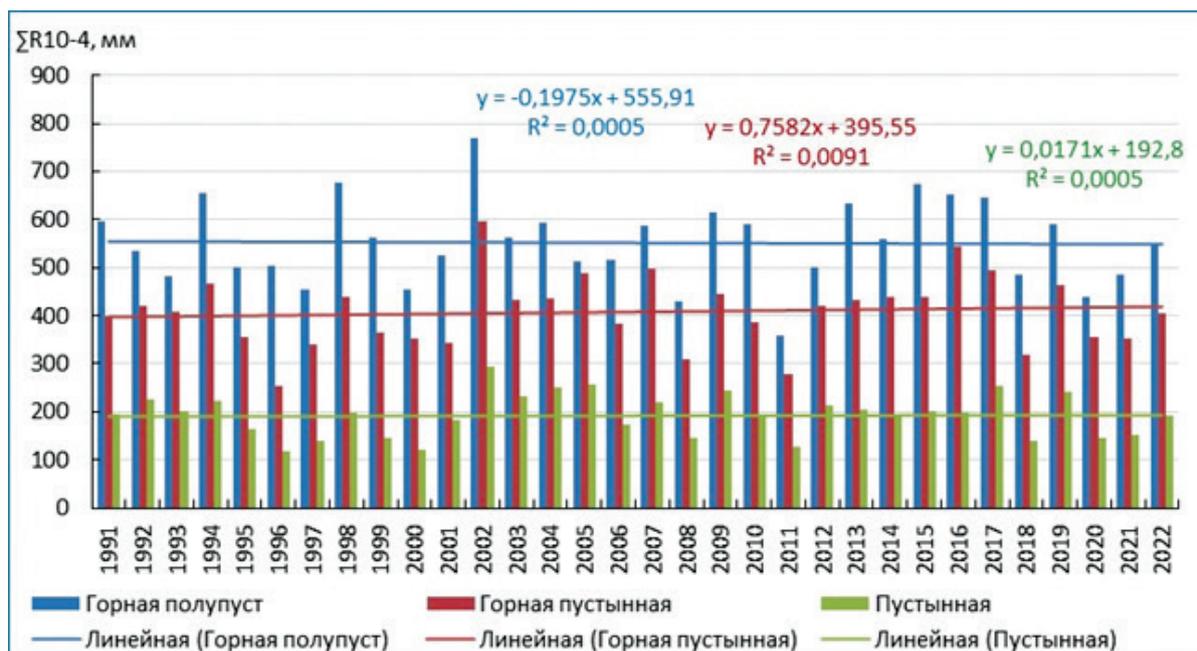


Рисунок 1. Многолетняя динамика суммы осадков за холодный период года

Сумма осадков за вегетационный период ранних яровых культур (май-июль) растет от пустынной зоны к горной полупустынной зоне от 35 до 128 мм (таблица 2).

Сумма осадков за вегетационный период за последние 32 года колебалась в широких пределах, и имела тенденцию снижения во всех трех природных зонах области. Сокращение количества летних осадков предполагает снижение влагообеспеченности сельскохозяйственных культур. Для определения общей тенденции изменения, линии трендов были описаны уравнением прямой, где коэффициенты детерминации (R^2) составляют 0,0978-0,1376 (рисунок 2).

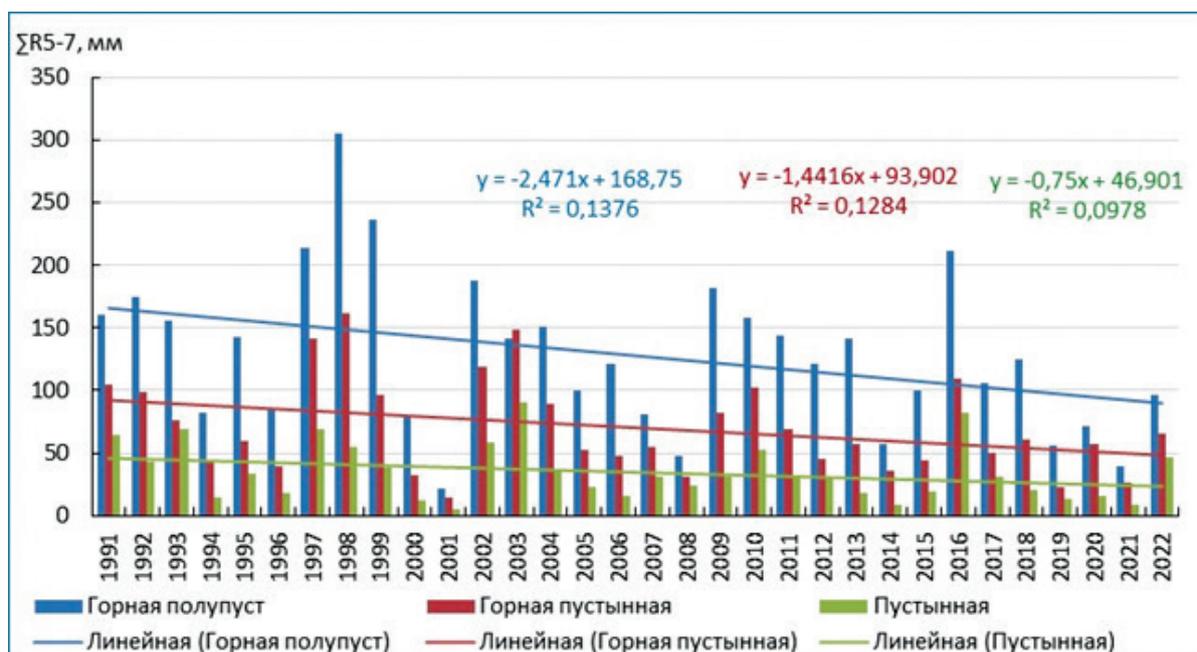


Рисунок 2. Многолетняя динамика суммы осадков за вегетационный период

Коэффициенты вариации многолетних рядов сумм осадков за вегетационный период составляют в пустынной зоне – 65 %, в горной пустынной зоне – 54 %, в горной полупустынной зоне – 49 %. Соответственно многолетние ряды суммы осадков за вегетационный период являются не однородными и сильно изменчивыми. Например, в пустынной зоне колебалась от 5 мм (2001 г.) до 90 мм (2003 г.).

В области вегетационные периоды 2021 и 2022 годов характеризовались малыми количествами летних осадков (ниже нормы). Естественно, такие условия были неблагоприятными для роста и развития сельскохозяйственных культур в условиях богарного земледелия.

Сумма эффективных температур воздуха выше 5°C за вегетационный период ранних яровых культур (май-июль) в среднем по природным зонам составляет 1464-1910 °C (таблица 2).

Сумма эффективных температур воздуха выше 5°C за последние 32 года имела тенденцию роста во всех природных зонах области. Рост величины суммы эффективных температур воздуха предполагает рост теплообеспеченности вегетационного периода и рост количества жарких дней. Линии трендов описаны уравнением прямой, где коэффициенты детерминации (R^2) составляют 0,3951-0,4098 (рисунок 3).

Коэффициенты вариации многолетних рядов суммы эффективных температур воздуха составляют в пустынной зоне – 5 %, в горной пустынной зоне – 7 %, в горной полупустынной зоне – 7 %. Соответственно многолетние ряды суммы эффективных температур воздуха являются абсолютно однородными и слабо изменчивыми.

Вегетационный период 2021 года характеризовался очень высокой температурой воздуха (выше нормы), а в 2022 году температурный фон лета также был выше нормы. Такие условия были неблагоприятными для роста и развития сельскохозяйственных культур, особенно в 2021 году.

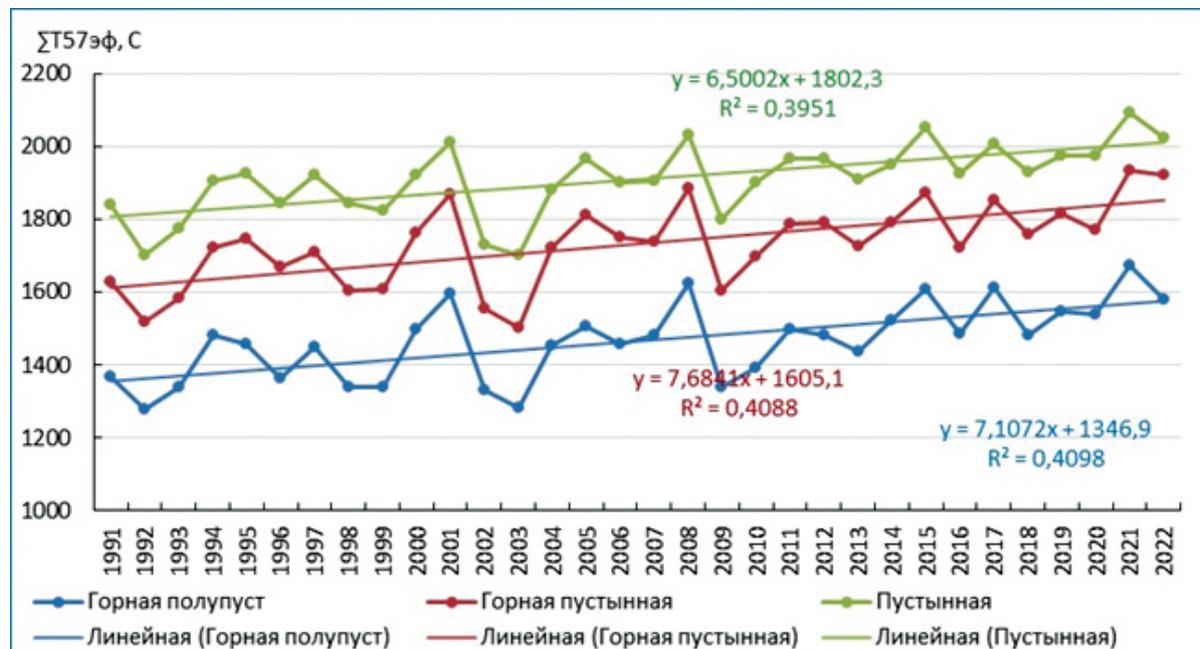


Рисунок 3. Многолетняя динамика суммы эффективных температур воздуха выше 5°C

Рост суммы эффективных температур воздуха предполагает рост количества жарких дней, неблагоприятных для сельскохозяйственных культур. Например, дневная

максимальная температура воздуха выше 32°C неблагоприятна для культур умеренного тепла (ранние яровые культуры), выше 37°C – неблагоприятна для теплолюбивых культур.

В Туркестанской области количество жарких дней для культур умеренного тепла (пшеница, ячмень) в среднем составляет на равнине 68-72 дня, в предгорной территории 39 дней (Рыскулов). Количество жарких дней для теплолюбивых культур (кукуруза, хлопчатник) составляет на равнине 24-32 дня, в предгорной территории 3 дня (таблица 3).

В 2021 году количество жарких дней для культур умеренного тепла доходило до 59-86 дней, а для теплолюбивых культур – до 13-41 дней.

Таблица 3. Количество жарких для сельскохозяйственных культур дней

МС	32 °С и выше		37 °С и выше	
	норма	2021 г.	норма	2021 г.
Туркестан	72	79	32	41
Шаян	68	79	24	38
Т.Рыскулов	39	59	3	13
Жетысай	77	86	28	41

Влагообеспеченность вегетационного периода, согласно среднееголетним значениям коэффициента увлажнения К, климатически характеризуется как (таблица 2):

- «умеренный дефицит влаги» ($K = 0,40 - 0,59$) – в пустынной зоне области;
- «оптимальная и устойчивая влагообеспеченность» ($K \geq 1,00$) – в горной пустынной и горной полупустынной зонах области.

Однако в отдельные годы влагообеспеченность может колебаться в широких пределах, от «сильного дефицита влаги» до «оптимальной влагообеспеченности».

Коэффициент увлажнения К за последние 32 года имел тенденцию снижения во всех природных зонах, т.е. снижается влагообеспеченность вегетационного периода. Линии трендов были описаны уравнением прямой, где коэффициенты детерминации (R^2) составляют 0,0809-0,1343 (рисунок 4).

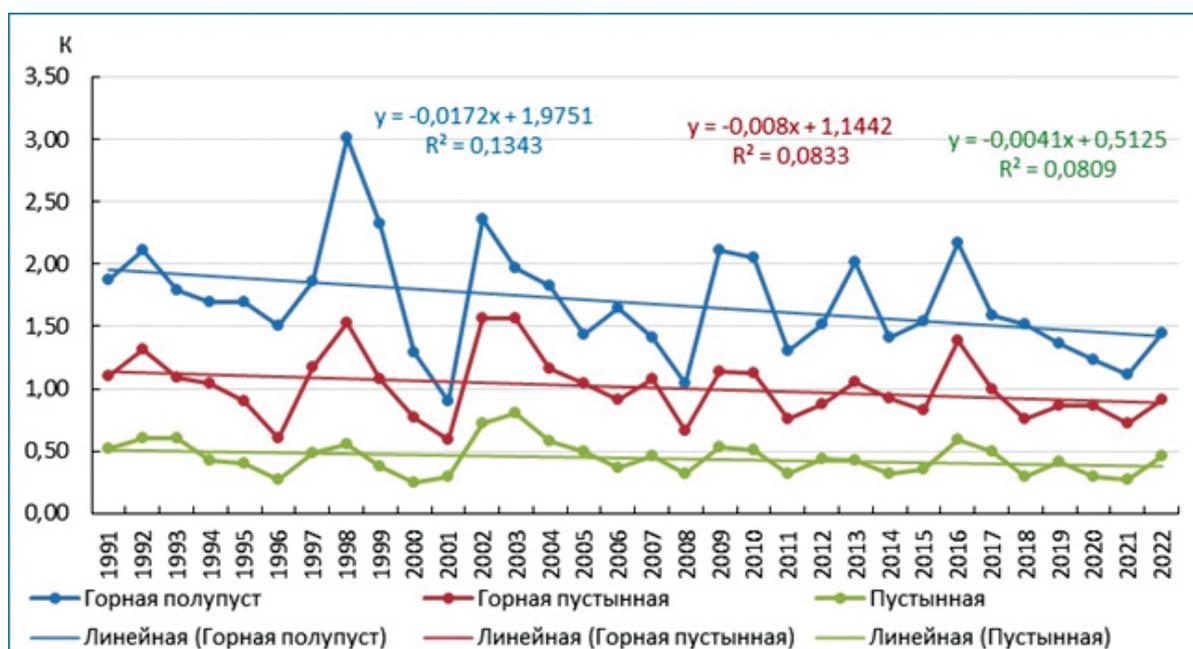


Рисунок 4. Многолетняя динамика коэффициента увлажнения К

Коэффициенты вариации многолетних рядов коэффициента увлажнения К составляют в пустынной зоне – 30%, в горной пустынной зоне – 26%, в горной полупустынной зоне – 26%. Соответственно многолетние ряды коэффициента увлажнения К являются недостаточно однородными и сильно изменчивыми.

В области последние годы влагообеспеченность вегетационного периода была пониженной во всех природных зонах, особенно в 2021 году.

Засушливость вегетационного периода, согласно средне многолетним значениям ГТК, климатически характеризуется как:

- «сильно засушливый» (ГТК < 0,40) – в пустынной и горной пустынной зонах;
- «слабо засушливый» (ГТК = 0,60 – 0,79) – в горной полупустынной зоне.

Однако в отдельные годы засушливость вегетационного периода может колебаться от «сильно засушливо» до «не засушливо».

Индекс засушливости ГТК за последние 32 года имела тенденцию снижения во всех природных зонах, т.е. усиливается засушливость вегетационного периода. Линий трендов были описаны уравнением прямой, где коэффициенты детерминации (R^2) составляют 0,1141-0,1662 (рисунок 5).

Коэффициенты вариации многолетних рядов ГТК составляют в пустынной зоне – 68%, в горной пустынной зоне – 58%, в горной полупустынной зоне – 53%. Соответственно многолетние ряды ГТК являются не однородными и сильно изменчивыми. Например, ГТК в пустынной зоне колебалась от 0,02 (2001 г.) до 0,43 (2003 г.).

В 2021 году вегетационный период был сильно засушливым (сухо) во всех природных зонах области (ГТК=0,03-0,19). В 2022 году вегетационный период был сильно засушливым в пустынной и горной пустынной зонах (ГТК=0,19-0,28), умеренно засушливым в горной полупустынной зоне (ГТК=0,48).

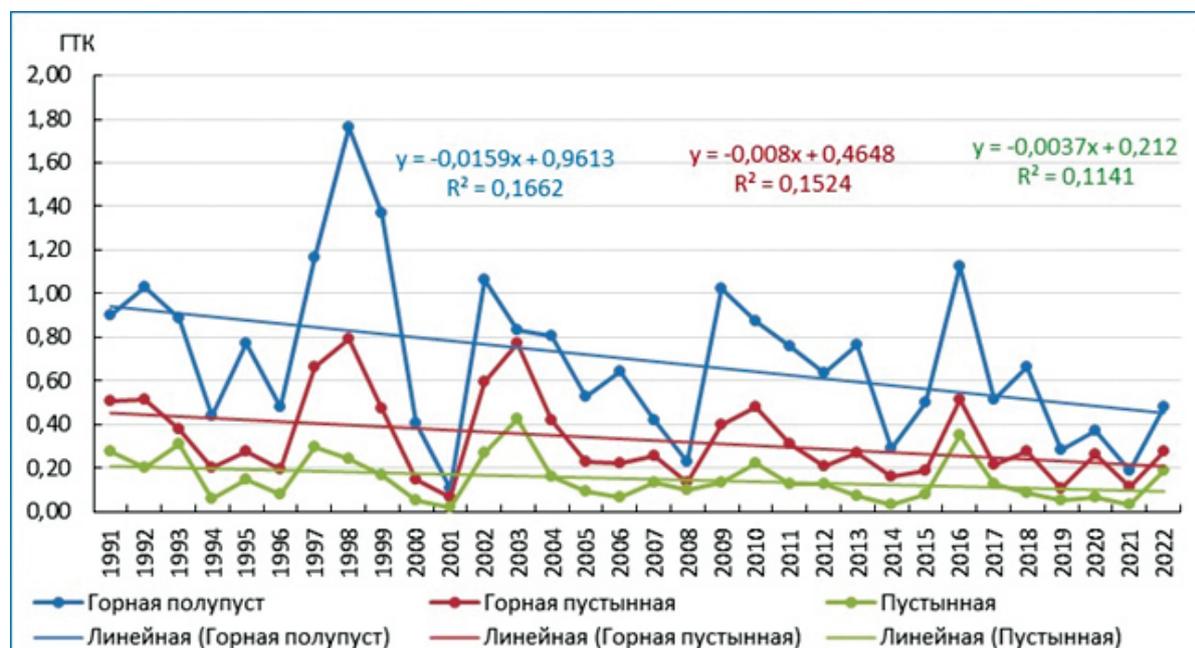


Рисунок 5. Многолетняя динамика ГТК

Возможность богарного земледелия. На основе оценки влагообеспеченности (К) и засушливости (ГТК) вегетационного периода можно определить возможность возделывания сельскохозяйственных культур без орошения (богарное земледелие) или же необходимость полива (орошаемое земледелие) [11]:

- Хорошие условия для богарного земледелия складываются при $K > 1,00$, (оптимальная и устойчивая влагообеспеченность) и при $ГТК > 0,80$ (не засушливо);
- Богарное земледелие невозможно при $K < 0,60$ (сильный или умеренный дефицит влаги) или при $ГТК < 0,60$ (умеренная или сильная засушливость), т.е. возможно только орошаемое земледелие;
- Богарное земледелие является рискованным при $K = 0,60-1,00$ или при $ГТК = 0,60-0,80$.

На основе средних многолетних значений K и $ГТК$ (таблица 2) можно сказать, что в пустынной и горной пустынной зонах Туркестанской области агрометеорологические условия не позволяют вести богарное земледелие, т.е. возможно только орошаемое земледелие. В горной полупустынной зоне богарное земледелие является рискованным, т.е. в некоторые годы понадобится подпитка сельскохозяйственных культур поливной водой, особенно сельскохозяйственных культур с длинным вегетационным периодом (кукуруза).

Для подтверждения данного заключения также оценивалась благоприятность вегетационного года, на основе коэффициента увлажнения K и индекса засухи $ГТК$. Для этого были рассчитаны обеспеченности рядов K и $ГТК$ и определены повторяемость лет с разной благоприятностью погодных условий.

Год считается благоприятным (без орошения), если вегетационный период был оптимально влагообеспеченным и не засушливым ($K > 1,00$ и $ГТК > 0,80$);

Год считается неблагоприятным (орошение обязательно), если вегетационный период характеризовался умеренным/сильным дефицитом влаги, или же умеренной/сильной засухой ($K < 0,60$ или $ГТК < 0,60$);

Год считается удовлетворительным (частичное орошение), если вегетационный период характеризовался достаточной или недостаточной влагообеспеченностью, а также слабой засухой ($K = 0,60-1,00$ и $ГТК = 0,60-0,80$).

В таблице 5 приведена повторяемость лет с разной благоприятностью погодных условий.

Годы с благоприятными погодными условиями имеют повторяемость 30 % (3 года из 10) в горной полупустынной зоне области.

Годы с неблагоприятными погодными условиями имеют повторяемость в пустынной зоне – 100 % (10 лет из 10), горной пустынной зоне – 90 % (9 лет из 10), в горной полупустынной зоне – 50 % (5 лет из 10).

Годы с удовлетворительными погодными условиями имеют повторяемость в горной полупустынной зоне – 20 % (2 года из 10), в горной пустынной зоне – 10 % (1 год из 10).

Таблица 4. Повторяемость лет с разной благоприятностью погодных условий

Природная зона	Благоприятные годы	Удовлетворительные годы	Неблагоприятные годы
Пустынная	0%	0%	100%
Горная пустынная	0%	10%	90%
Горная полупустынная	30%	20%	50%

Выводы

В Туркестанской области за последние 32 года (1991-2022 гг.) наблюдаются тенденция роста суммы температуры воздуха за вегетационный период, тенденция снижения суммы осадков за вегетационный период, тенденция снижения значений коэффициента увлажнения K и индекса засухи $ГТК$. Такие условия предполагают рост теплообеспеченности

вегетационного периода, рост количества жарких дней, снижение влагообеспеченности и усиление засушливости вегетационного периода.

В Туркестанской области суммы осадков за холодный период года растут от пустынной зоны к горной полупустынной зоне от 193 до 553 мм. Сумма осадков за вегетационный период (май-июль) также растет от пустынной зоны к горной полупустынной зоне от 35 до 128 мм.

Сумма эффективных температур воздуха выше 5°C за вегетационный период (май-июль) в среднем по природным зонам составляет 1464-1910 °C.

В области количество жарких дней для культур умеренного тепла в среднем составляет 68-72 дня на равнине и 39 дней в предгорной территории. Количество жарких дней для теплолюбивых культур составляет 24-32 дня на равнине и 3 дня в предгорной территории.

Вегетационный период по влагообеспеченности (по К), климатически характеризуется в пустынной зоне области как «умеренный дефицит влаги», в горной пустынной и горной полупустынной зонах области – как «оптимальная и устойчивая влагообеспеченность».

Вегетационный период по засушливости (по ГТК), климатически характеризуется в пустынной и горной пустынной зонах как «сильно засушливый», в горной полупустынной зоне – как «слабо засушливый».

В пустынной и горной пустынной зонах Туркестанской области возможно только орошаемое земледелие. В горной полупустынной зоне богарное земледелие является рискованным, т.е. в некоторые годы необходима подпитка сельскохозяйственных культур оросительной водой.

На территории области годы с благоприятными погодными условиями имеют повторяемость 30 % в горной полупустынной зоне. Годы с удовлетворительными погодными условиями имеют повторяемость 20% в горной полупустынной зоне и 10 % в горной пустынной зоне. Годы с неблагоприятными погодными условиями имеют повторяемость 100 % в пустынной зоне, 90 % в горной пустынной зоне и 50 % в горной полупустынной зоне.

Полученные результаты исследования будут полезными для ученых агрономов и фермеров Туркестанской области.

Список литературы

1. Байшоланов С.С., Акшалов К.А., Ауезханов Д.А., Баймуканова О.Н. Связь урожайности яровой пшеницы с агрометеорологическими показателями на территории Северо-Казахстанской области Республики Казахстан // Труды Гидрометцентра России// Гидрометеорологические исследования и прогнозы.-2022.- № 4 (386). – С. 130-146. (DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2022-4-130-146>).
2. Акшалов К., Байшоланов С., Ауесханов Д., Баймуканова О. Анализ агрометеорологических условий вегетационного периода и урожайность яровой пшеницы в условиях Акмолинской области Республики Казахстан // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. Вып. 605. Санкт-Петербург, – 2022. – С. 41-57. (http://voeikovmgo.ru/images/stories/publications/2022/GGO_tr605.pdf).
3. Грингоф И.Г., Клеценко А.Д., Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том 1. Потребность сельскохозяйственных культур в агрометеорологических условиях и опасные для сельскохозяйственного производства погодные условия. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2011. – 808 с.
4. Грингоф И. Г., Павлова В. Н. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том III. Часть 1. Основы агроклиматологии. Часть 2. Влияние изменений климата на экосистемы, агросферу и сельскохозяйственное производство. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2013. – 384 с.
5. Справочник по показателям и индексам засушливости. ВМО–№ 173. – 2016. – 60 с.
6. Страшная А.И., Пурина И.Э., Чуб О.В., Задорнова О.И., Чекулаева Т.С. Автоматизированная технология мониторинга и расчета количества декад с почвенной и атмосферно-почвенной засухой под зерновыми культурами // Труды Гидрометцентра России. – 2013. Вып. 349. – С. 150-160.

7. Кожаметов П.Ж., Исаков Е.А., Байбазаров Д. Использование стандартизированного индекса осадков (СИО) для выявления засух в Казахстане // Гидрометеорология и экология. № 1. – Алматы: Казгидромет, 2016. – С. 22–32.

8. Черенкова Е.А., Золотокрылин А.Н. О сравнимости некоторых количественных показателей засухи // Фундаментальная и прикладная климатология. Том 2. Москва: ФГБУ «Институт глобального климата и экологии им. Акадеика Я.А. Израэля». – 2016. – С. 79-94.

9. Байшоланов С.С., Павлова В.Н., Жакиева А.Р., Чернов Д.А., Габбасова М.С. Агроклиматические ресурсы Северного Казахстана // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2018. – № 1(367). – С. 168-184.

10. Природно-сельскохозяйственное районирование // Национальный Атлас Республики Казахстан. Том 1. Природные условия и ресурсы. Под. ред. Медеу. А.Р. 2-е изд. – Алматы. – 2010. – С. 80-81.

11. Байшоланов С.С., Клещенко А.Д., Мусатаева Г.Б., Габбасова М.С., Жакиева А.Р., Муканов Е.Н., Акшалов К.А., Чернов Д.А. Агроклиматические ресурсы Акмолинской области: научно-прикладной справочник. – Астана. – 2017. –133 с. (<http://kazneb.kz/site/catalogue/view?br=1596528>).

С. С. Байшоланов, Н.А. Оралбекова

«Астана» халықаралық университеті, Астана, Қазақстан

Түркістан облысында агрометеорологиялық жағдайлардың ерекшеліктері

Аңдатпа. Түркістан облысында 1991-ден 2022 жылға дейінгі кезеңдегі агрометеорологиялық көрсеткіштердің өзгеру үрдістері талданды. Вегетациялық кезеңдегі ауа температурасы сомасының өсу үрдісі, вегетациялық кезеңдегі жауын-шашын сомасының төмендеу үрдісі, К ылғалдандыру коэффициентінің және ГТК құрғақшылық индексінің мәндерінің төмендеу үрдісі байқалады. Мұндай жағдайлар вегетациялық кезеңнің жылуқамтамасыздығының өсуін, ыстық күндер санының өсуін, вегетациялық кезеңнің ылғалқамтамасыздығының төмендеуін және қуаңшылығының күшеюін болжайды. Ауа-райы жағдайы қолайлы жылдар қайталанушылығы таулы шөлейтті аймақта 30% құрайды. Ауа-райы жағдайы қанағаттанарлық жылдар қайталанушылығы таулы шөлейтті аймақта 20% және таулы шөлді аймақта 10% құрайды. Ауа-райы жағдайы қолайсыз жылдар қайталанушылығы шөлді аймақта 100%, таулы шөлді аймақта 90% және таулы шөлейтті аймақта 50% құрайды.

Түйін сөздер: жауын-шашын, ауа температурасы, вегетациялық кезең, ылғалқамтамасыздық, қуаңшылық.

S.S. Baisholanov, N.A. Oralbekova

«Astana» International University, Astana, Kazakhstan

Features of agrometeorological conditions in the Turkestan region

Abstract. The trends of changes in agrometeorological indicators in the Turkestan region for the period from 1991 to 2022 are analyzed. There is a tendency to increase the sums of air temperature for the growing season, a tendency to decrease the sums of precipitation for the growing season, a tendency to decrease the values of the humidification coefficient K and the drought index HTC. Such conditions imply an increase in the heat supply of the growing season, an increase in the number of hot days, a decrease in humidification and an increase in the aridity of the growing season. Years with favorable weather conditions have a repeatability of 30% in the mountainous semi-desert zone. Years with satisfactory weather conditions have a repeatability of 20% in the mountainous semi-desert zone and 10% in the mountainous desert zone. Years with adverse weather conditions have a repeatability of 100% in the desert zone, 90% in the mountainous desert zone and 50% in the mountainous semi-desert zone.

Keywords: precipitation, air temperature, growing season, moisture availability, aridity.

References

1. Baisholanov S.S., Akshalov K.A., Auezkhanov D.A., Baimukanova O.N. Svyaz urozhajnosti yarovoi pshenicy s agrometeorologicheskimi pokazatelyami na territorii Severo-Kazahstanskoi oblasti Respubliki Kazahstan [The relationship of spring wheat yield with agrometeorological indicators in the territory of the North Kazakhstan region of the Republic of Kazakhstan], Trudy Gidrometcentra Rossii. Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy, Moskva [Proceedings of the Hydrometeorological Center of Russia. Hydrometeorological studies and forecasts, Moskva], 4 (386), 130-146 (2022). [in Russian]
2. Akshalov K., Baisholanov S., Aueskhanov D., Baimukanova O. Analiz agrometeorologicheskikh uslovii vegetacionnogo perioda i urozhajnost' yarovoi pshenicy v usloviyah Akmolinskoj oblasti Respubliki Kazahstan) [Analysis of agrometeorological conditions of the growing season and the yield of spring wheat in the conditions of the Akmol region of the Republic of Kazakhstan], Trudy Glavnoi geofizicheskoi observatorii im. A.I. Voeikova, Sankt-Peterburg [Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeikov, Sankt-Peterburg], (605), 41-57 (2022). [in Russian]
3. Gringof I.G., Kleshchenko A.D., Osnovy sel'skohozyajstvennoj meteorologii. Tom 1. Potrebnost' sel'skohozyajstvennykh kul'tur v agrometeorologicheskikh usloviyah i opasnye dlya sel'skohozyajstvennogo proizvodstva pogodnye usloviya [Fundamentals of agricultural meteorology. Volume 1. The need of agricultural crops in agrometeorological conditions and dangerous weather conditions for agricultural production] (Obninsk, FGBU «VNIIGMI-MCD, 2011, 808). [in Russian]
4. Gringof I. G., Pavlova V. N. Osnovy sel'skohozyajstvennoj meteorologii. Tom III. CHast' 1. Osnovy agroklimatologii. CHast' 2. Vliyanie izmenenij klimata na ekosistemy, agrosferu i sel'skohozyajstvennoe proizvodstvo [Fundamentals of agricultural meteorology. Volume III. Part 1. Fundamentals of agroclimatology. Part 2. The impact of climate change on ecosystems, the agricultural sphere and agricultural production] (Obninsk, FGBU, VNIIGMI-MCD, 2013, 384). [in Russian]
5. Spravochnik po pokazatelyam i indeksam zasushlivosti [Reference book on indicators and indices of aridity] (VMO, 173, 2016, 60). [in Russian]
6. Strashnaya A.I., Purina I.E., CHub O.V., Zadornova O.I., CHekulaeva T.S. Avtomatizirovannaya tekhnologiya monitoringa i rascheta kolichestva dekad s pochvennoi i atmosferno-pochvennoi zasuhoi pod zernovymi kul'turami [Automated technology for monitoring and calculating the number of decades with soil and atmospheric-soil drought under grain crops], Trudy Gidrometcentra Rossii, 349, 150-160 (2013). [in Russian]
7. Kozhahmetov P.ZH., Iskakov E.A., Bajbazarov D. Ispol'zovanie standartizirovannogo indeksa osadkov (SIO) dlya vyyavleniya zasuh v Kazahstane [Using the Standardized Precipitation Index (SIO) to identify droughts in Kazakhstan], Gidrometeorologiya i ekologiya, Kazgidromet Almaty [Hydrometeorology and ecology, Kazgidromet Almaty], (1, 22–32 (2016) [in Russian]
8. CHerenkova E.A., Zolotokrylin A.N. O sravnimosti nekotorykh kolichestvennykh pokazatelei zasuhi [On the comparability of some quantitative indicators of drought] Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya. Tom 2. (FGBU, Moskva: «Institut global'nogo klimata i ekologii im. Akadeika YA.A. Izraelya»), 79-94(2016). [in Russian]
9. Baisholanov S.S., Pavlova V.N., ZHakieva A.R., CHernov D.A., Gabbasova M.S. Agroklimaticheskie resursy Severnogo Kazahstana [Agro-climatic resources of Northern Kazakhstan], Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy, 367,168-184 (2018). [in Russian]
10. Prirodno-sel'skohozyajstvennoe rajonirovanie [Natural and agricultural zoning], Nacional'nyj Atlas Respubliki Kazahstan. Tom 1. Prirodnye usloviya i resursy, Almaty, red. Medeu A.R., 2, 80-81 (2010). [in Russian]
11. Baisholanov S.S., Kleshchenko A.D., Musataeva G.B., Gabbasova M.S., ZHakieva A.R., Mukanov E.N., Akshalov K.A., CHernov D.A. Agroklimaticheskie resursy Akmolinskoj oblasti: nauchno-prikladnoi spravochnik [Agro-climatic resources of Akmol region: scientific and applied reference] (Astana, 2017,133). [in Russian]

Сведения об авторах:

Байшолонов С. – география ғылымдарының кандидаты, доцент, «Астана» халықаралық университеті, Қабанбай батыр даңғылы, 8, Астана, Қазақстан

Оралбекова Н. – магистрант, «Астана» халықаралық университеті, Қабанбай батыр даңғылы, 8, Астана, Қазақстан

Baisholanov S. – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, «Astana» International University, 8 Kabanbai Batyr Ave., Astana, Kazakhstan

Oralbekova N. – Master's student, «Astana» International University, Kabanbai Batyr Ave., 8, Astana, Kazakhstan

Редакторы: **Э.Е. Копишев, Ж.Г. Берденов**

Авторларға арналған нұсқаулықтар,
жарияланым этикасы журнал сайтында енгізілген: <http://bulchmed.enu.kz>

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.
Химия. География. Экология сериясы.
- 1(142)/2023 - Астана: ЕҰУ. 120 б.
Шартты б.т. – 7.5. Таралымы - 8 дана.
Басуға қол қойылды: 29.03.2023

Ашық қолданыстағы электронды нұсқа: <http://bulchmed.enu.kz>

Мазмұнына типография жауап бермейді

Редакцияның мекен-жайы: 010008, Қазақстан Республикасы Астана қ.,
Сәтбаев көшесі, 2.
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
Тел.: +7(71-72) 70-95-00 (ішкі 31-413)

