



Journal of
Chemistry and
Chemical Education

ISSN 3136-5620 (print)

JOURNAL OF CHEMISTRY AND CHEMICAL EDUCATION



№1, Vol.1

2026

ISSN 3136-5620 (print)

JOURNAL OF CHEMISTRY AND CHEMICAL EDUCATION

2026, Volume 1, Number 1

2026 жылдан бастап шығады
Выходит с 2026 года
Founded in 2026

Жылына төрт рет шығады
Выходит четыре раза в год
Issued quarterly

**Қызылорда/Кызылорда/Kyzylorda
2026**

Редакциялық алқа

- | | |
|------------------|--|
| Аппазов Н.О. | - ғылыми редактор, химия ғылымдарының кандидаты, профессор, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан Республикасы |
| Ақылбеков Н.И. | - ғылыми редактордың орынбасары, PhD, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан Республикасы |
| Турманов Р.А. | - химия ғылымдарының кандидаты, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан Республикасы |
| Ақатан Қ. | - PhD, С.Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы |
| Бурилов А.Р. | - химия ғылымдарының докторы, профессор, А.Е.Арбузов атындағы Органикалық және физикалық химия институты, Қазан қ., Татарстан Республикасы, Ресей Федерациясы |
| Газизов А.С. | - химия ғылымдарының докторы, А.Е.Арбузов атындағы Органикалық және физикалық химия институты, Қазан қ., Татарстан Республикасы, Ресей Федерациясы |
| Гущин А.Л. | - химия ғылымдарының докторы, профессор, Ресей ғылым академиясы Сібір бөлімінің А.В.Николаев атындағы бейорганикалық химия институты, Новосибир мемлекеттік университеті, Ресей Федерациясы |
| Джиембаев Б.Ж. | - химия ғылымдарының докторы, профессор, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Қазақстан Республикасы |
| Елубай М.А. | - химия ғылымдарының кандидаты, Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы |
| Жанбеков Х.Н. | - жер ғылымдарының докторы, профессор, химия ғылымдарының кандидаты, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Қазақстан Республикасы |
| Мукатаева Ж.С. | - химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Қазақстан Республикасы |
| Elizabeth L. Day | - қауымдастырылған профессор, Эль Пасо Техас университеті (University of Texas at El Paso) Эль Пасо, АҚШ |
| Құдайбергенов Н. | - PhD, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы |
| Куанышева Ж.Қ. | - педагогика ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Қазақ Ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Қазақстан Республикасы |
| Любчик С.Б. | - PhD, профессор, Лиссабон Жаңа университеті, Португалия |
| Махмут Озачар | - PhD, профессор, Сакария университеті, Түркия Республикасы |
| Никитина П.А. | - химия ғылымдарының кандидаты, доцент, Д.И. Менделеев атындағы Ресей химия-технологиялық университеті, Мәскеу қ., Ресей Федерациясы |
| Сыздықбаев М.И. | - химия ғылымдарының кандидаты, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан Республикасы |
| Canan Nakiboglu | - PhD, Балыкесір университетінің профессоры, Түркия Республикасы |
| Сманова З.А. | - химия ғылымдарының докторы, профессор, Мирзо Улугбек атындағы Өзбекстан ұлттық университеті, Өзбекстан Республикасы |
| Тапалова А.С. | - техника ғылымдарының кандидаты, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан Республикасы |
| Уралбеков Б.М. | - химия ғылымдарының кандидаты, профессор, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы |
| Унербаева З.О. | - педагогика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Қазақстан Республикасы |
| Хрусталев Д.П. | - химия ғылымдарының докторы, профессор, Қарағанды медицина университеті, Қазақстан Республикасы |
| Чугунова Е.А. | - химия ғылымдарының докторы, А.Е.Арбузов атында-ғы Органикалық және физикалық химия институты, Ресей Ғылым академиясының Қазан ғылыми орталығы» Федералдық ғылыми-зерттеу орталығы, Татарстан |

Ю В.К.	Республикасы, Ресей Федерациясы
Төлегенқызы М.	химия ғылымдарының докторы, профессор, «Ә.Б.Бектұров атындағы Химия ғылымдары институты» АҚ, Қазақстан Республикасы
	жауапты хатшы, химия ғылымдарының магистрі, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан Республикасы

Редакционная коллегия

Аппазов Н.О.	Научный редактор, кандидат химических наук, профессор, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Республика Казахстан
Акылбеков Н.И.	- PhD, ассоциированный профессор, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Республика Казахстан
Акатан К.	- PhD, Национальная научная лаборатория коллективного действия, Восточно-Казахстанский университет имени С.Аманжолова, Республика Казахстан
Бурилов А.Р.	- доктор химических наук, профессор, Институт органической и физической химии имени А.Е.Арбузова, Российская Федерация
Газизов А.С.	- доктор химических наук, Институт органической и физической химии имени А.Е.Арбузова, Российская Федерация
Гущин А.Л.	- доктор химических наук, профессор, Институт неорганической химии имени А.В.Николаева Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирский государственный университет, Российская Федерация
Джиембаев Б.Ж.	- доктор химических наук, профессор, Казахский национальный женский педагогический университет, Республика Казахстан
Елубай М.А.	- кандидат химических наук, Торайгыров университет, Республика Казахстан
Жанбеков Х.Н.	- доктор наук о Земле, профессор, кандидат химических наук, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Республика Казахстан
Мукатаева Ж.С.	- кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Казахского национального педагогического университета им. Абая, Республика Казахстан
Элизабет Л. Дэй	- ассоциированный профессор Техасского университета в Эль-Пасо, США
Кудайбергенов Н.	- PhD, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Республика Казахстан
Куанышева Ж.К.	-- кандидат педагогических наук, ассоциированный профессор Казахского национального женского педагогического университета, Республика Казахстан
Любчик С.Б.	- PhD, профессор, Новый университет Лиссабона, Португалия
Махмут Озачар	- PhD, профессор, университет Сакаръя, Туркия
Никитина П.А.	- кандидат химических наук, доцент, Российский химико-технологический университет имени Д.И.Менделеева, Российская Федерация
Сыздыкбаев М.И.	- кандидат химических наук, Кызылординский университет имени Коркыт-Ата, Республика Казахстан
Джанан Накипоглу	- PhD, профессор Балыкесирского университета, Туркия
Сманова З.А.	- доктор химических наук, профессор, Узбекистанский национальный университет имени Мирзо Улутбека, Республика Узбекистан
Тапалова А.С.	- кандидат технических наук, Кызылординский университет имени Коркыт-Ата, Республика Казахстан
Турманов Р.А.	- кандидат химических наук, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Республика Казахстан
Уралбеков Б.М.	- кандидат химических наук, профессор, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Республика Казахстан
Хрусталева Д.П.	- доктор химических наук, профессор, Карагандинский медицинский университет, Республика Казахстан
Чугунова Е.А.	- доктор химических наук, Институт органической и физической химии имени А.Е.Арбузова, Российская Федерация
Ю В.К.	- доктор химических наук, профессор, АО «Институт химических наук им.

- Төлегенқызы М. - А.Б. Бектурова», Республика Казахстан
- ответственный секретарь магистр химических наук, Кызылординский университет имени Коркыт-Ата, Республика Казахстан

Editorial Board

- N.O. Appazov - Executive Editor, Candidate of Chemical Sciences, Professor, Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan
- N.I.Akylbekov - PhD, Associate Professor, Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan
- K. Akatan - PhD, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University National Scientific Laboratory of Collective Action, Republic of Kazakhstan
- A.R. Burilov - Doctor of Chemical Sciences, Professor, A.E.Arbutov Institute of Organic and Physical Chemistry, Russian Federation
- A.S. Gazizov - Doctor of Chemical Sciences, A.E.Arbutov Institute of Organic and Physical Chemistry, Russian Federation
- A.L. Gushchin - Doctor of Chemical Sciences, Professor, A.V.Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk State University, Russian Federation
- B.Zh. Dzhiembayev - Doctor of Chemical Sciences, Professor, Kazakh National Women's Pedagogical University, Republic of Kazakhstan
- M.A. Yelubai - Candidate of Chemical Sciences, Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan
- Kh.N. Zhanbekov - Doctor of Earth Sciences, Professor, Candidate of Chemical Sciences, Abai Kazakh National Pedagogical University, Republic of Kazakhstan
- Zh.S. Mukataeva - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Abai Kazakh National Pedagogical University, Republic of Kazakhstan
- Elizabeth L. Day - Associate Professor, University of Texas at El Paso, United States
- N.Kudaibergenov - PhD, Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan
- Zh.K. Kuanisheva - PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor, Kazakh National Women's Teacher Training University, Republic of Kazakhstan
- S.B. Lyubchik - PhD, Professor at the Nova University of Lisbon, Portugal
- Mahmut Ozachar - PhD, Professor, Sakarya University, Türkiye.
- P.A. Nikitina - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, D.I.Mendeleev Russian University of Chemical Technology of Russia, Russian Federation
- M.I. Syzdykbayev - Candidate of Chemical Sciences, Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan
- Canan Nakiboglu - Professor, PhD, Balıkesir University, Türkiye
- Z.A. Smanova - Doctor of Chemical Sciences, Professor, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Republic of Uzbekistan
- A.S. Tapalova - Candidate of Technical Sciences, Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan
- R.A. Turmanov - Candidate of Chemical Sciences, Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan
- B.M. Uralbekov - Candidate of Chemical Sciences, Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan
- D.P. Khrustalev - Doctor of Chemical Sciences, Professor, Karaganda Medical University, Republic of Kazakhstan
- E.A. Chugunova - Doctor of Chemical Sciences, A.E.Arbutov Institute of Organic and Physical Chemistry, Russian Federation
- V.K. Yu - Doctor of Chemical Sciences, Professor, JSC "A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences", Republic of Kazakhstan
- M. Tolegenkyzy - Executive Secretary, Master of Chemical Sciences, Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan

Наименование издателя – *Journal of Chemistry and Chemical Education*

Адрес издателя – индекс. 120014, ул Айтеке би, 29А, г.Кызылорда, Республика Казахстан

Name of the publisher - *Journal of Chemistry and Chemical Education*

The publisher's address is an index. 120014, Aiteke bi street, 29A, Kyzylorda, Republic of Kazakhstan

МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКОМУ ОБРАЗОВАНИЮ В ВУЗЕ НА ОСНОВЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

Еспанова И.Д., докторант III курса образовательной программы «Химия»

indiradaurenovna@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0721-1794>

Абызбекова Г.М., кандидат химических наук

gulmira69@korkyt.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3721-1322>

Қызылординский университет имени Қорқыт Ата, Кызылорда, Казахстан

Аннотация. В данной статье описывается лабораторный эксперимент, проведенный студентами с целью преобразования местных сельскохозяйственных отходов в эффективные сорбенты. В качестве сырья для производства активированного угля использовались рисовая солома и шелуха. Целью исследования было не только изготовление сорбента, но и оценка его эффективности при очистке сточных вод и формирование экологического сознания, а также развитие компетенций в области устойчивого развития. Данное исследование включает карбонизацию и активацию рисовой соломы и шелухи с целью получения сорбентов, а также стандартный анализ воды до и после очистки сточной воды. Лабораторный эксперимент был интегрирован в образовательную программу подготовки будущих учителей химии и включал не только химическое, но и педагогические аспекты. Студенты освоили методики комплексонометрического титрования и других стандартных методов анализа воды. Полученные данные подтвердили, что сорбенты, изготовленные из сельскохозяйственных отходов, обладают высокими очистительными свойствами. Кроме того, эксперимент показал, что 93 % студентов проявили повышенную мотивацию и интерес к зелёной химии и принципам устойчивого развития, 78 % расширили свои теоретические знания, 92 % укрепили практические навыки, а 75 % продемонстрировали более высокую экологическую осведомлённость благодаря акценту на переработке местных отходов вместо их сжигания.

Ключевые слова: образование, технологии переработки отходов, рисовая солома и шелуха, лабораторный эксперимент, сорбент, активированный уголь.

Введение. Рис является одной из важнейших продовольственных культур в мире. При его переработке образуются значительные объёмы побочных продуктов – шелуха и солома. В Казахстане производство риса сосредоточено преимущественно в Кызылординской области, на долю которой приходится более 85 % урожая страны [1, 16]. Сжигание рисовой соломы и шелухи приводит к серьёзным экологическим последствиям: деградации почв, загрязнению воздуха и воды [2]. Альтернативой может стать переработка этих отходов в ценные продукты, такие как активированный уголь, что соответствует принципам циркулярной экономики и устойчивого развития [3,4].

Переработка отходов уже давно является неотъемлемой частью химической науки и образования. Еще в начале XX века агропромышленные побочные продукты – кукурузные початки, солома и скорлупа арахиса – использовались для производства фурфурола, пластмасс, бумаги и клеев [5,6]. Эти подходы заложили основу для современных концепций зеленой химии [7].

Современные лабораторные занятия по переработке отходов помогают студентам освоить как традиционные, так и новые экологически безопасные подходы. На занятиях студенты не просто изучают теорию, а участвуют в практических исследованиях: получают биоэтанол из яблочного жмыха, делают адсорбенты из сосновых иголок и рисовой шелухи, тестируют биоуголь методом титрования Бёма, а также выходят на уровень мини-биопереработки и проектов по созданию биомасла из отходов растительного происхождения [8-12]. При этом сами сельхозотходы вроде соломы или той же рисовой шелухи становятся всё более популярным и бюджетным материалом для очистки сточных вод [8, 9, 13]. Активированный уголь, полученный из этих материалов, продемонстрировал высокую

эффективность при удалении тяжёлых металлов, органических загрязнителей и красителей [1, 14]. Данный подход позволяет решить одну из актуальных глобальных проблем – загрязнение воды промышленными, сельскохозяйственными и бытовыми сточными водами [15, 17, 18].

В рамках данного исследования студенты второго курса химического факультета провели полный лабораторный цикл: от производства активированного угля из местного сырья в Кызылординской области до его применения для очистки сточных вод. Для оценки сорбционной способности сорбентов студенты провели анализ воды до и после очистки с использованием стандартных методов: определили жёсткость, щёлочность и содержание хлоридов, кальция, магния и сульфатов, а также pH [16].

Таким образом, студенты не только освоили навыки проведения химических экспериментов, но и на собственном опыте убедились, что переработка местных сельскохозяйственных отходов способствует улучшению состояния окружающей среды, в то время как их сжигание наносит ей вред. Это способствует укреплению экологической осведомлённости. Уникальность данного подхода заключается в использовании местных отходов – рисовой соломы и шелухи, интеграции химического синтеза, экологического анализа и педагогической оценки, а также в количественной оценке уровня экологической осведомлённости студентов [7, 11].

Материалы и методы исследования. Разработанный лабораторный эксперимент направлен на освоение будущими учителями химии принципов рационального природопользования и ресурсосбережения. Практикум позволяет совместить изучение фундаментальных химических законов с решением актуальных экологических проблем.



Рисунок 1 – Педагогическая модель интеграции химического эксперимента и экологического образования

Цель эксперимента:

1. Теоретическое и практическое изучение экологических проблем, связанных со сжиганием сельскохозяйственных отходов, и технологий преобразования местных отходов в сорбенты.
2. Развитие навыков работы с лабораторным оборудованием и освоение методов синтеза сорбентов.
3. Количественная оценка эффективности полученных сорбентов с использованием стандартных методов анализа воды до и после очистки.

В эксперименте приняли участие студенты второго курса специальности «Химическая технология и зелёная химия», которые к этому моменту уже изучили органическую,

неорганическую, физическую и аналитическую химию, а также химическую технологию и введение в зелёную химию.

Чтобы оценить педагогическую эффективность методики, до и после проведения эксперимента провели анонимный онлайн-опрос на базе Google Forms. В исследовании приняли участие 40 человек (по 20 респондентов на входном и итоговом этапах). Процедура отвечать соответствовала этическим стандартам: участие являлось добровольным, перед началом анкетирования участники подтвердили информированное согласие, а сбор персональных данных и конфиденциальной информации не проводился.

Статистическую обработку результатов выполняли в среде Microsoft Excel, где также формировали таблицы и графики для наглядного отображения динамики обучения.

Методика химического эксперимента

1. *Синтез активированного угля из рисовой соломы и шелухи.* В качестве растительного сырья для получения углеродных адсорбентов использовали аграрные отходы – рисовую солому и шелуху. Процесс состоял из двух основных этапов: карбонизации и активации.

Растительный материал промывали, сушили и измельчали. Подготовленную биомассу подвергали карбонизации в трубчатой печи из нержавеющей стали (высота 250 мм, внутренний диаметр 25 мм). Материал нагревали со скоростью 10 °C/мин до 500 °C и выдерживали при этой температуре в течение 100 мин.

Полученный углесодержащий материал подвергали паровой активации при соотношении вода/углерод 2:1. Активацию проводили при 800 °C, что обеспечивало образование хорошо развитой пористой структуры и высокие сорбционные свойства конечного продукта.

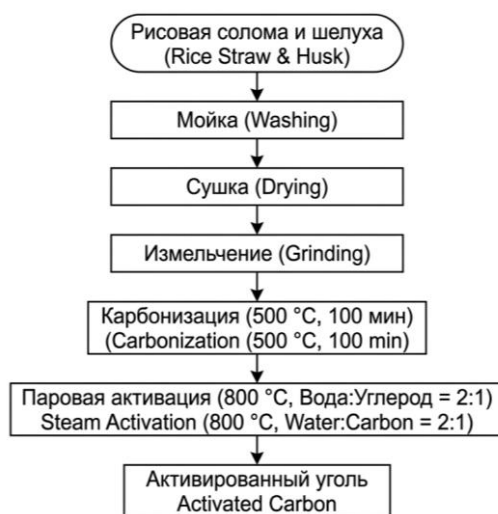


Рисунок 2 – Схема получения активированного угля из рисовой соломы и шелухи

1. Очистка сточных вод с использованием подготовленных сорбентов

Для очистки сточных вод учащиеся поместили 30 г подготовленного активированного угля в делительную воронку. Сточные воды медленно пропускали через слой сорбента, а очищенную воду собирали в колбу Эрленмейера.



Рисунок 3 – Лабораторная установка для очистки сточных вод с использованием сорбента из рисовой соломы и шелухи

Оценка эффективности сорбента с использованием стандартных методов анализа воды

Для оценки эффективности сорбента учащиеся были разделены на две основные группы по 10 человек в каждой для анализа воды до и после очистки. В каждой группе было сформировано по пять рабочих пар. Каждая пара отвечала за определённые аналитические показатели: жёсткость, щёлочность, а также содержание хлоридов, кальция, магния, сульфатов, карбонатов, гидрокарбонатов, окисляемость перманганатом и общую минерализацию. Параллельное выполнение идентичного комплекса анализов обеими группами по единым стандартным методикам способствовало развитию навыков командной работы и критического анализа полученных данных.

В рамках лабораторного практикума студенты освоили работы с нормативно-технической документацией (ГОСТ), регламентирующей методы анализа воды. Это позволило закрепить практические навыки выполнения стандартизированных измерений ключевых гидрохимических показателей:

- общей жесткости (ГОСТ 4151);
- щелочности, содержания кальция, магния, а также карбонат- и гидрокарбонат-ионов (ГОСТ 26449.1);
- перманганатной окисляемости (ГОСТ 26449.1);
- сульфат-ионов (ГОСТ 4389);
- хлорид-ионов (ГОСТ 4245);
- сухого остатка/общей минерализации (ГОСТ 18164);

Общую жёсткость определяли методом комплексометрического титрования с использованием ЭДТА (Трилон Б), который избирательно связывает ионы кальция и магния – основные компоненты жёсткости – с образованием стабильных комплексов. Для повышения точности результатов и компенсации возможных погрешностей при приготовлении раствора ЭДТА необходимо применять поправочный коэффициент.

Лабораторный эксперимент по определению общей жёсткости сточных вод методом комплексометрического титрования

Цель: определить общую жёсткость сточных вод методом комплексометрического титрования с использованием Трилона Б (ЭДТА) при pH 10 в присутствии индикатора эритрозина чёрного Т.

Жёсткость обусловлена присутствием ионов кальция и магния. При титровании раствором Трилона Б (ЭДТА) в щелочной среде образуются стабильные комплексные соединения.

Реактивы и растворы:

- 0,05 н. раствор Трилона Б (0,931 г на 100 мл дистиллированной воды);
- аммиачно-аммонийный буферный раствор (pH 10);

- индикатор эриохром черный Т (0,125 г + 25 г NaCl);
- 0,05 н. раствор MgSO₄ для стандартизации.

Порядок проведения:

Определение поправочного коэффициента (K) для раствора Трилона Б: разбавить 10 мл 0,05 н. раствора MgSO₄ дистиллированной водой до 100 см³ и провести титрование раствором Трилона Б после добавления 5 мл буферного раствора (рН 10) и 0,1 г индикатора эриохром черный Т до изменения цвета с красно-фиолетового на синий. Поправочный коэффициент рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{10}{v}$$

где v – объем ЭДТА, израсходованный во время титрования, в мл.

Определение общей жёсткости воды: Для анализа отбирают 100 мл сточных вод (до и после очистки) и титруют их раствором Трилона Б по той же процедуре, что и при определении поправочного коэффициента, с использованием буферного раствора (рН 10) и индикатора эриохром черный Т.

Общую жёсткость X рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{v * 0,05 * K * 1000}{V}$$

где

X – общая жёсткость воды, мг-экв/л;

v – объём раствора Трилона Б (ЭДТА), израсходованный на титрование, мл;

0,05 – нормальность раствора Трилон Б;

K – поправочный коэффициент;

1000 – коэффициент пересчёта;

V – объём пробы воды, взятой для титрования, мл.

Пример расчета. Объем раствора Трилона Б, израсходованного при титровании, составил 11,1 мл. Следовательно:

$$K = \frac{10}{11.1} = 0.9$$

Для расчета общей жёсткости использовалась формула 2. Например, при $v = 6,777$ мл, $K = 0,9$ и $V = 100$ мл

$$\begin{aligned} X &= \frac{v * 0,05 * K * 1000}{V} = \frac{6,777 * 0,05 * 0,9 * 1000}{100} = \frac{6,777 * 0,05 * 9}{1} = \\ &= 6,777 * 0,45 = 3,04965 \approx 3,05 \text{ мг – экв/л} \end{aligned}$$

Таким образом, правильный результат – 3,05 мг – экв/л

Результаты и обсуждение

После проведения анализа воды учащиеся внесли свои результаты в общую таблицу. Эти данные были использованы для группового обсуждения и сравнения результатов. Ниже приведены результаты стандартных методов анализа воды до и после очистки с помощью сорбента, изготовленного из рисовой соломы и шелухи:

- Значение рН снизилось с 8,2 до 7,8.
- Общая жёсткость снизилась с 3,05 до 2,8 мг-экв./л.
- Содержание кальция снизилось с 121 до 10,8 мг/дм³.
- Содержание магния снизилось с 30 до 16 мг/дм³.
- Содержание сульфатов снизилось с 58 до 50 мг/дм³.
- Содержание хлоридов снизилось с 308 до 60 мг/дм³.
- Содержание гидрокарбонатов снизилось с 1880 до 1089 мг/дм³.
- Общая минерализация (сухой остаток) снизилась с 3 до 0,0015 мг/дм³.
- Содержание карбонатов увеличилось с 1152 до 73 мг/дм³.

- Окисляемость перманганатом до 5,0, а после обработки отсутствовала.
- Щёлочность с 51 до 46 ммоль/дм³.

Таким образом, после очистки снизились практически все ключевые показатели: pH, общая жёсткость, а также концентрации кальция, магния, сульфатов, хлоридов, гидрокарбонатов, карбонатов и общая минерализация. Перманганатная окисляемость после обработки полностью отсутствовала, а щёлочность также уменьшилась. Полученные результаты подтверждают высокую эффективность сорбента из рисовой соломы и шелухи в процессе очистки сточных вод.

Интерпретация результатов и образовательная ценность

Для оценки эффективности сорбента учащиеся самостоятельно сравнили расчётные значения жёсткости воды до и после очистки. Для питьевой воды допустимый предел общей жёсткости, согласно санитарным нормам Республики Казахстан, обычно составляет от 7,0 до 10,0 мг-экв/л.

Анализ сточных вод показал, что исходная жёсткость сточных вод составляла примерно 3,05 мг-экв/л. После очистки с помощью сорбента из рисовой соломы учащиеся отметили заметное снижение жёсткости до 2,8 мг-экв/л – значения, которое укладывается в рамки установленных санитарных норм для питьевой воды.

Сравнивая неочищенную и очищенную воду – в том числе по содержанию ионов кальция, магния, хлорида и других неорганических ионов – студенты непосредственно убедились в эффективности сорбента и принципах адсорбции. Заметное снижение жёсткости и содержания хлоридов помогло студентам критически оценить результаты эксперимента.

Таким образом, эксперимент не только продемонстрировал очищающие свойства сорбента из рисовой соломы, но и имел значительную образовательную ценность. Учащиеся развили практические лабораторные навыки, критическое мышление и понимание принципов зелёной химии, а также осознали важность переработки сельскохозяйственных отходов для устойчивого развития и защиты окружающей среды.

Результаты обучения и отзывы

Лабораторный эксперимент «Применение технологий переработки отходов в образовательных лабораторных исследованиях: очистка сточных вод с использованием сорбентов, изготовленных из рисовой соломы и рисовой шелухи из Кызылординской области» проводился в течение 3 недель по два занятия в неделю, каждое из которых длилось два академических часа.

- 1-я неделя: Подготовка сорбента – карбонизация и активация рисовой соломы и шелухи для получения активированного угля.
- 2-я неделя: Использование полученного сорбента для очистки сточных вод.
- 3-я неделя: Оценка эффективности сорбента с помощью стандартных методов анализа воды.

Такая поэтапная структура помогла студентам связать концепцию «от отходов к ресурсам» с практической оценкой эффективности сорбента при очистке воды. Данный подход обеспечивает сбалансированное сочетание экспериментальной химии, аналитических измерений и педагогического анализа.

Оценка знаний студентов до и после проведения лабораторного эксперимента

Для оценки уровня знаний до и после изучения материала в ходе трехнедельного лабораторного эксперимента 20 студентов заполнили анонимную онлайн-анкету. Средние результаты опросов, проведенных до и после эксперимента, представлены на таблице 1.

До эксперимента (исходный уровень). Начальные знания студентов о карбонизации и активации при производстве сорбентов из рисовой шелухи и соломы, об оценке эффективности сорбентов при очистке сточных вод, а также о стандартных методах анализа воды были ограниченными. Процент правильных ответов на теоретические вопросы колебался от 8 % до 38 %, что свидетельствовало о низком уровне понимания. Кроме того, 92 % студентов отметили трудности с объяснением этапов производства активированного угля и

аналитических методов анализа воды, а также низкий уровень уверенности в работе с лабораторным оборудованием.

Таблица 1 – Средние результаты онлайн-опроса студентов до и после лабораторного эксперимента

	А	В	С
1	Показатель	До эксперимента	После эксперимента
2	Правильные ответы	25	78
3	Неправильные ответы	75	22

После эксперимента. Повторный опрос выявил значительное улучшение понимания студентами технологий переработки отходов и их практических навыков. Процент правильных ответов увеличился, что подтвердило эффективность экспериментального подхода.

Студенты отметили, что теперь они лучше понимают технологию преобразования сельскохозяйственных отходов, таких как рисовая солома и шелуха, в сорбенты, методы количественной оценки эффективности сорбентов при очистке воды, а также стандартизированные процедуры анализа воды.

На основе данных был проведён подробный анализ образовательного эффекта. Ответы респондентов были использованы для выявления ключевых тенденций, которые позволили определить три основных направления прогресса студентов: эмоциональная вовлеченность (93 % положительных ответов), когнитивный рост (78 %) и практическая значимость (83 %).

По сравнению с уровнем до эксперимента все показатели групповых дискуссий после эксперимента выросли. Процент студентов, выбравших каждую из категорий, увеличился следующим образом:

- К1 – вдохновлены экологическим подходом: показатель вырос с 34 % до 75 % (прирост составил 41 процентного пункта).
- К2 – преодоление первоначальной неуверенности: доля проявивших интерес увеличилась с 72 % до 89 % (прирост составил 17 п.п.).
- К3 – расширение теоретических представлений: увеличение доли с 31 % до 78 % (прирост составил 47 п.п.).
- К4 – приобретение опыта в сфере переработки отходов: доля владеющих практикой выросла с 5 % до 68 % (прирост составил 63 п.п.).
- К5 – углубление профильных знаний: показатель подскочил с 19 % до 78 % (прирост составил 59 п.п.).
- К6 – положительная оценка лабораторных работ: доля отметивших их пользу и интерес поднялась с 22 % до 82 % (прирост составил 60 п.п.).
- К7 – осознание начальных затруднений: динамика рефлексии составила с 6 % до 92 % (прирост составил 86 п.п.).
- К8 – форирование уверенности в исследованиях: с 3 % до 74 % (вырос на 71 п.п.).
- К9 – понимание важности и ресурсосбережения: положительный сдвиг с 12 % до 69 % (прирост составил 57 п.п.).
- К10 – усиление интереса к химической дисциплине: ротация показателей с 9 % до 93 % (прирост составил на 84 п.п.).
- К11 – готовность к решению сложных, но практико-ориентированных задач: показатель вырос с 3 % до 63 % (прирост составил 60 п.п.).
- К12 – осознание связи эксперимента с будущей профессиональной деятельностью: увеличение доли с 12 % до 83 % (прирост составил 71 п.п.).

Таким образом, по итогам эксперимента во всех категориях без исключения были отмечены положительные тенденции. Наиболее заметный рост показали показатели К7 (начальные трудности), К10 (интерес к предмету), К8 (уверенность) и К12 (актуальность для профессии). Наименьший, но все же значимый рост был отмечен по показателю К2 (с 72 %

до 89 %). В целом это свидетельствует о высокой педагогической эффективности лабораторного эксперимента.

Методика оценки

Для оценки базовых знаний и эффективности лабораторного эксперимента 20 студентов заполнили анонимную онлайн-анкету. Анкета состояла из 35 вопросов с вариантами ответов, каждый из которых имел пять вариантов и один правильный ответ. Знания оценивались по количественной шкале: каждый правильный ответ оценивался в 1 балл, максимальное количество баллов составляло 35. Затем баллы были преобразованы в проценты для удобства анализа и визуализации. Этот метод позволил точно измерить и сравнить понимание студентами теоретического материала до и после эксперимента.

Отзывы студентов: групповое обсуждение

По завершении эксперимента было проведено структурированное групповое обсуждение с целью сбора качественных отзывов. Студенты отметили значительное положительное изменение в уровне мотивации и освоении навыков, что подтверждается результатами, приведённые выше.

Чтобы обобщить результаты анкетирования, качественные показатели (критерии K1-K12) были объединены в три содержательных блока:

- Эмоциональная вовлеченность (K1, K2, K6 и K11): подавляющее большинство респондентов (93%) отметили рост интереса к предмету, а 82 % дали высокую оценку пользе и увлекательности занятий. Экологическая проблематика выступила мотивирующим фактором для 75 % участников.

- Когнитивный рост (K3, K5, K9): эксперимент обеспечил расширение теоретического кругозора: 78 % студентов заявили об углублении знаний по переработке биомассы, а 69 % подчеркнули важную роль экологически устойчивых технологий.

- Практическая значимость (K4, K7, K8, K12): показала наиболее расширение осязаемый сдвиг. На начальном этапе 92 % учащихся сталкивались с трудностями при понимании методов анализа, однако в финале 74 % респондентов продемонстрировали уверенность в практических действиях. При этом 83 % студентов подтвердили прямую связь полученного опыта со своей будущей профессией.

Выводы по результатам обратной связи

Качественный анализ отзывов показал, что лабораторный эксперимент был воспринят как эффективный, интерактивный и мотивирующий. Он способствовал развитию научного и исследовательского мышления, углубил понимание важности переработки сельскохозяйственных отходов и дал студентам возможность применять приобретённые навыки в своей будущей профессиональной деятельности.

Центральное место в структуре практикума занимает формирование экологической культуры студентов. Из выше данных критериев (критерии K1 и K9) видно, что вовлеченность в зеленую химическую проблематику выросла с 34 % до 75 %, а понимание прикладной ценности устойчивых технологий – с 12 % до 69 %. Лабораторные исследования до утилизации агроотходов и очистке сточной воды позволили обучающимся осознать, что локальные растительные отходы Кызылординской области представляют собой стратегический ресурс для природоохранных технологий. Благодаря этому работа вышла за рамки стандартной учебной задачи, приобретая статус полноценной эколого-образовательной инициативы.

Таким образом, экспериментальная методика, построенная на концепциях устойчивого развития и зеленой химии, доказала свою эффективность: она обеспечила рост учебной мотивации, глубокую вовлеченность и уверенность студентов при выполнении процессов химической переработки биомасса.

Оценка рисков и техника безопасности

До допуска к лабораторному эксперименту студенты освоили правильный порядок действий при работе с высокотемпературным оборудованием и дисперсными материалами. Для снижения рисков, связанных с высокотемпературной карбонизацией, температура в

трубчатой печи снижалась до безопасного уровня до того, как студентам разрешался доступ, чтобы предотвратить термические ожоги; кроме того, студенты использовали термостойкие перчатки и щипцы. Для предотвращения вдыхания мелкой сельскохозяйственной пыли и частиц диоксида кремния во время обработки рисовой соломы и шелухи использовались защитные маски. Все процедуры нагрева проводились в исправно работающей вытяжной камере для безопасного удаления газообразных побочных продуктов. Студенты строго соблюдали установленные протоколы безопасности, что обеспечило их личную безопасность и успешное, контролируемое проведение эксперимента в учебных условиях.

Заключение. Лабораторные эксперименты по технологии переработки сельскохозяйственных отходов с использованием местного сырья – рисовой соломы и шелухи из Кызылординской области – позволили успешно интегрировать принципы устойчивой зелёной химии в образовательный процесс. Эксперимент, в ходе которого был изготовлен сорбент и проведено его применение для очистки сточных вод с использованием стандартных аналитических методов, продемонстрировал высокую образовательную и экологическую ценность.

С образовательной точки зрения данная лабораторная работа расширяет знания студентов о воздействии сжигания сельскохозяйственных отходов на окружающую среду и способствует пониманию современных подходов к переработке, утилизации и повторному использованию отходов. Кроме того, она помогает студентам развивать навыки работы с лабораторным оборудованием, осваивать аналитические методы и формировать практические компетенции в области химической технологии и зелёной химии.

Таким образом, данный лабораторный эксперимент можно рассматривать не только как актуальный научно-образовательный проект, но и как универсальный инструмент для развития ключевых компетенций, необходимых будущим учителям химии. Включение подобных лабораторных занятий в учебные программы вузов является важным шагом на пути к повышению экологичности высшего образования и подготовке нового поколения специалистов, руководствующихся принципами устойчивого развития.

Литературы:

- [1] **Appazov, N.**, Diyarova, B., Turmanov, R., Zhapparbergenov, R., Lygina, O., Tapalova, A., Saduakaskyzy, K., Dzhiembaev, B. Processing of Rice Husk and Straw into Activated Carbon. *Bulg. Chem. Commun.* 2021, 53, 265-268.
- [2] **Guo, L.**, Zhao, J. Effect of Burning Straw in Rural Areas on Ecological Environment Quality. *Arab. J. Geosci.* 2021, 14, 1357.
- [3] **Liu, J.**, Liu, J., Zhang, H., Zhou, T. How Does Agricultural Land Scale Affect Recycling Behavior of Agricultural Wastes: Evidence from CLES. *Front. Sustain. Food Syst.* 2024, 8, 1440786.
- [4] **Sumiyati, S.**, Samadikun, B.P., Widyanti, A., Budihardjo, M.A., Qadar, S. Al, Puspita, A.S. Life Cycle Assessment of Agricultural Waste Recycling for Sustainable Environmental Impact. *Glob. J. Environ. Sci. Manag.* 2024, 10, 907-938.
- [5] **Albert, C.G.** Utilization of Agricultural Wastes. *J. Chem. Educ.* 1930, 7 (7), 1563.
- [6] **Arnold, L.K.** Agricultural Wastes in Industry. *J. Chem. Educ.* 1931, 8 (12), 2310.
- [7] **Martin-Alfonso, J.E.**, Yanez, R. Integration of Teaching Laboratory Activities Based on the Valorization of Industrial Waste into Chemical Education to Address the Emerging Sustainable Development Goals. *J. Chem. Educ.* 2024, 101 (10), 4405-4410.
- [8] **Singh, V.P.**, Susaniya, A., Jain, S. C., Vaish, R. Demonstrating a Rice-Husk-Based Adsorption Process Using Smartphone Colorimetry to Teach Students about Kinetic Models and Their Applications. *J. Chem. Educ.* 2021, 98 (10), 3288-3296.
- [9] **Vargas, A.B.**, Buhler, J., Rosa, C.H., Ignacio, P., Rosa, G.R. Pine Needles in the Production of Sustainable Adsorbents: A Teaching Mini-Project Focused on the Valorization of Biomass. *J. Chem. Educ.* 2024, 101 (11), 5012-5020.
- [10] **Breen, R.**, Goggin, C., Holmes, J.D., Collins, G.A. Collaborative Co-curricular Undergraduate Research Experience on Sustainable Materials: Analysis of Biochar Using Boehm Titration and Spectroscopic Techniques. *J. Chem. Educ.* 2025, 102 (3), 1323-1332.

- [11] **McCance, K.R.**, Suarez, A., McAlexander, S.L., Davis, G., Blanchard, M.R., Venditti, R.A. Modeling a Biorefinery: Converting Pineapple Waste to Bioproducts and Biofuel. J. Chem. Educ. 2021, 98 (6), 2047-2054.
- [12] **Welsing, G.L.**, Damm, B.M., Oliveira, L.d.E.S.A.d., Feu, A.M.A., Arantes, H.T.L.d., Lima, L.C.d., Silva, A.L.S.d., Souza, M.L.d., Machado, M.A., Moura, P.R.G.d. Bio-oil from Piper nigrum L. Crop Waste as a Potential Biofuel and Its Contribution to Chemistry Education through Problematised Experimental Activity. J. Chem. Educ. 2024, 101 (11), 4745-4755.
- [13] **Loh, Z.Z.**, Zaidi, N.S., Yong, E.L., Anshori, M.Y., Al-Kahtani, A.A., Boopathy, R., Ratnasari, A., Syafuddin, A. Comparative Assessments of Wastewater Treatment Technologies for Wastewater Recycling Potential. Desalin. Water Treat. 2022, 261, 151-158.
- [14] **Al-Qahtani, K.M.** Water Purification Using Different Waste Fruit Peels for the Removal of Heavy Metals. J. Taibah Univ. Sci. 2016, 10, 700-708.
- [15] **Nelliyat, P.** Water Pollution: Extent, Impact, and Abatement. In Indian Water Policy at the Crossroads: Resources, Technology, and Reforms. Global Issues in Water Policy; Springer, Cham, 2016, 16. DOI: 10.1007/978-3-319-25184-4_8.
- [16] **Appazov, N.O.**, Zhusupbek, U.A., Turmanov, R.A., Lyubchik, S.B., Lyubchik, A.I., Lyubchik, S.I., et al. The Method for Obtaining Activated Carbon from Rice Straw and Husks. Patent of the Republic of Kazakhstan, No. 3892, 2019, Bulletin 16.
- [18] **Sarkis, V.D.** A Study of Water Pollution. An Undergraduate Chemistry Laboratory Experience. J. Chem. Educ. 1974, 51, 745.
- [18] **Araujo, J.L.**, Morais, C., Paiva, J.C. Developing and Implementing a Low-Cost, Portable Pedagogical Kit to Foster Students' Water Quality Awareness and Engagement by Sampling Coastal Waters and Analyzing Physicochemical Properties. J. Chem. Educ. 2020, 97, 3697-3701.

АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ҚАЛДЫҚТАРЫН ӨНДЕУ БОЙЫНША ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫСТАРҒА НЕГІЗДЕЛГЕН УНИВЕРСИТЕТТЕ ХИМИЯНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ

Еспанова И.Д., «Химия» білім беру бағдарламасының III курс докторанты
Абызбекова Г.М., химия ғылымдарының кандидаты

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан

Аннотация. Бұл мақала студенттер жүргізген зертханалық тәжірибені сипаттайды, оның мақсаты жергілікті ауылшаруашылық қалдықтарын тиімді сорбенттерге айналдыру болды. Активтелген көмір өндіру үшін шикізат ретінде күріш сабағы мен қабығы қолданылды. Зерттеудің мақсаты тек сорбент өндіру ғана емес, сонымен қатар оның лас суларды тазартудағы тиімділігін бағалау, экологиялық сананы қалыптастыру және тұрақты даму саласындағы құзыреттерді дамыту болды. Экспериментке шикізатты көмірлендіру мен белсендіру, сондай-ақ суды өндеуге дейінгі және кейінгі талдау стандартталған әдістер арқылы жүргізу кірді. Лабораториялық тәжірибе болашақ химия мұғалімдерін даярлау бағдарламасына енгізіліп, тек химиялық ғана емес, педагогикалық аспектілерді де қамтыды. Студенттер комплексометриялық титрлеу және суды талдаудың басқа стандартты әдістерінің техникасын меңгерді. Алынған мәліметтер ауылшаруашылық қалдықтарынан жасалған сорбенттердің жоғары тазарту қасиеттеріне ие екенін растады. Сонымен қатар, тәжірибе көрсеткендей, студенттердің 93 пайызы жасыл химия мен тұрақты даму қағидаларына деген мотивациясы мен қызығушылығын арттырды, ал 78 пайызы теориялық білімін кеңейтті, 92 пайыз студенттер практикалық дағдыларын нығайтты, ал 75 пайыз студенттер жергілікті қалдықтарды өртеудің орнына қайта өндеуге басымдық берудің арқасында экологиялық сана-сезімнің жоғарылағанын көрсетті.

Тірек сөздер: білім беру, қалдықтарды қайта өндеу технологиялары, күріш сабаны мен қабығы, зертханалық тәжірибе, сорбент, белсенді көмір.

A METHODOLOGY FOR TEACHING CHEMISTRY AT UNIVERSITY BASED ON LABORATORY WORK ON THE PROCESSING OF AGRICULTURAL WASTE

Yespanova I.D., third-year PhD student in the Chemistry Educational Program
Abyzbekova G.M., Candidate of Chemical Sciences

Korkyt Ata University, Kyzylorda, Kazakhstan

Abstract. This article describes a laboratory experiment conducted by students with the aim of converting local agricultural waste into effective sorbents. Rice straw and husks were used as raw materials for the production of activated carbon. The aim of the study was not only to produce a sorbent, but also to assess its effectiveness in wastewater treatment, to foster environmental awareness, and to develop competencies in the field of sustainable development. The experiment involved the carbonisation and activation of the raw materials, as well as the analysis of water before and after treatment using standardised methods. The laboratory experiment was integrated into the training programme for future chemistry teachers and covered not only chemical but also pedagogical aspects. . The students learnt the techniques of complexometric titration and other standard methods of water analysis. The data obtained confirmed that sorbents made from agricultural waste possess high purification properties. Furthermore, the experiment showed that 93 per cent of students demonstrated increased motivation and interest in green chemistry and the principles of sustainable development, 78 per cent expanded their theoretical knowledge, 92 per cent strengthened their practical skills, and 75 per cent demonstrated greater environmental awareness thanks to the emphasis on recycling local waste rather than incinerating it.

Keywords: education, waste recycling technologies, rice straw and husks, laboratory experiment, sorbent, activated carbon.

КҮРІШ ҚАУЫЗНАН ӨСІМДІК МАЙЫН АЛУ ЖӘНЕ ОНЫҢ НЕГІЗІНДЕГІ МАЙ ҚЫШҚЫЛДАРЫНЫҢ МОНОГЛИЦЕРИДТЕРІН СИНТЕЗДЕУ

Алимхан Б.Г., магистрант

mortalbeka@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-7375-9778>

Қанжар С.А., магистрант

sakenkanzhar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4553-3049>

Тапалова А.С., химия ғылымдарының кандидаты

tapalova_a@korkyt.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7556-2380>

Аппазов Н.О., химия ғылымдарының кандидаты, профессор

nurasar.82@korkyt.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8765-3386>

Қорқын Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан

Аңдатпа. Мақалада күріш қауызы, агроөнеркәсіп секторының мол қалдықтары, қанықпаған май қышқылдарына бай өсімдік майының қалдықтарын қамтиды. Бұл зерттеуде күріш қауызының биомассасын моноглицеридтерге, маңызды өнеркәсіптік маңызы бар қосылыстарға айналдырудың экологиялық таза және тиімді стратегиясы ұсынылған. Процесс этилацетатты қолдана отырып, жартылай автоматты Soxhlet аппаратында (ASV-6M) күріш қауызын шығарудан басталады, ол алты сыналған еріткіштің ішінен экстракцияның ең жоғары тиімділігін көрсетті, күріш қауызынан 2,82% -ға дейін май береді. Алынған мұнай КОН қатысуымен орташа қысым мен температура жағдайында (4 сағат бойы 220 °C) каталитикалық глицеролиз реакциясына ұшырады, нәтижесінде моноглицеридтер мөлшері шамамен 68% құрады. Алынған қоспа ацетон-су ерітіндісінде кристалдануды қамтитын екі сатылы әдіспен тазартылды, содан кейін 93% -ға дейін тазалығы бар моноглицеридтерді қамтамасыз ететін силикагельдегі баған хроматографиясы жүргізілді. Құрылымдық және композициялық талдау газ хроматографиясы-масс-спектрометрия (ГХ-МС) және инфрақызыл (ИК) спектроскопия арқылы жүргізілді, бұл пальмит және олеин қышқылдарының моноглицеридтері сияқты негізгі эфирлердің болуын растады. Масс-спектрометрия деректері моноглицеридтердің құрылымына сәйкес келетін молекулалық салмақты растады, ал ИК спектрлері эфир және гидроксил функционалдық топтарына сәйкес келетін сипаттамалық сіңіру жолақтарын көрсетті.

Тірек сөздер: күріш қауызы; экстракция; өсімдік майы; Пальмит және олеин қышқылының моноглицеридтері.

Кіріспе. Агроөнеркәсіптік қалдықтарды тұрақты түрде кәдеге жарату қазіргі заманғы жасыл химия мен азық-түлік технологияларының маңызды бағыттарының біріне айналды. Мол ауыл шаруашылығы қалдықтарының ішінде күріш қауызы әлемдік күріш өндірісінің шамамен 20% -ын құрайды, бұл жылына 150 миллион тоннадан асады. Дәстүрлі түрде қалдықтар ретінде өнделетін немесе отын сияқты төмен құнды қосымшалар үшін пайдаланылатын күріш қауызы жақында кремнеземді [2], целлюлоза [3] және мұнай фракцияларын қоса алғанда, бай биохимиялық құрамымен назар аударды. [1]

Күріш қауызының липидтік құрамы әр түрлі өнеркәсіптік қолданыстағы глицеридтерді өндіру үшін құнды шикізат болып табылады [4]. Моноглицеридтер азық-түлік, фармацевтика және косметика өнеркәсібінде эмульгаторлар, тұрақтандырғыштар және биологиялық белсенді қосылыстар ретінде кеңінен қолданылады. Олар өнімнің текстурасын, жарамдылық мерзімін және құрылымдық тұрақтылығын жақсартады, сонымен қатар адам тұтыну үшін қауіпсіз болып қалады [5].

[6] зерттеуге сәйкес, күріш қауызының құрамында 21,44% шикі мұнай бар, ол негізінен олеин (48%), линоль (35%) және пальмит (14%) қышқылдарынан тұрады. Дәстүрлі моноглицеридтер көбінесе тазартылған өсімдік майларына сүйенеді [7]. Мысалы, [8] жылы сілтілі глицеролиз арқылы зығыр майының этил эфирлерінен моноглицеридтерді алудың экологиялық таза әдісі әзірленді. NaOH-ді 130°C температурада катализатор ретінде пайдалана отырып, бастапқы эфирлердің толық дерлік конверсиясымен 76% -ға дейін

моноглицеридтердің өнімділігіне қол жеткізілді. Бұл жұмыс биодизельден алынған эфирлердің биофункционалды липидтерді өндірудегі аралық ретінде әлеуетін көрсетеді.

[6] -де соя, күнбағыс және жүгері майларын қолдана отырып, көмірқышқыл газының жоғары сыни жағдайларындағы глицеролиз зерттелді. Бұл процесс 49% -ға дейін моноглицеридтердің өнімділігімен жоғары конверсияға әкелді, ал қолданылған шарттар (250 °C, 20 МПа) органикалық еріткіштердің қажеттілігін жойып, процестің экологиялық тазалығын қамтамасыз етті. [9] авторлары кальций және магний оксидтері сияқты қатты гетерогенді катализаторларды қолдана отырып, өсімдік майларын глицеролиз арқылы моно- және диглицеридтердің синтезін хабарлады. Нәтижелер CaO 220 ° C температурада реакцияны тиімді катализдей алатынын көрсетті, бұл еріткіштерді қолданбай-ақ моноглицеридтердің жоғары өнімділігін қамтамасыз етеді. [10] [11] -де моноглицеридтер синтезі иондық сұйықтықтарды катализатор ретінде қолдана отырып сипатталған. Иондық сұйықтықтарды қолдану 200 °C температурада 69% -дан асатын кірістілікке мүмкіндік берді, бұл ұшқыш еріткіштерді болдырмау және катализатордың қайта пайдалану артықшылықтары болды.

Бұл зерттеуде біз күріш қауызы майын өндіруді және оны каталитикалық глицеролиз арқылы моно- және диглицеридтерге айналдыруды қамтитын циркулярлық экономикаға негізделген тәсілді ұсынамыз [12]. Процесс қол жетімді еріткіштерді, жұмсақ реакция жағдайларын және масштабталатын тазарту қадамдарын қолдану арқылы жоғары селективтілік пен өнімнің өнімділігіне қол жеткізу үшін оңтайландырылды. Алынған биоэмульгаторлар қалдықтарды бағалауға және қоршаған ортаны қорғауға ықпал ететін синтетикалық ингредиенттерге тұрақты балама ретінде әлеуетті қолдануға ие.

Күріш қауызының химиялық құрамы өсіру аймағына, климатына және өңдеу әдістеріне байланысты өзгереді. Күріш қауызы негізінен целлюлозадан, лигниннен және аморфты кремнеземнен тұрады. Орташа алғанда, оның құрамында 30-35% целлюлоза, 10-25% гемицеллюлоза, 15-25% лигнин, 1-5% майлар мен балауыздар және 15-20% минералды күл бар. Күлдегі кремнезем мөлшері 80-95% -ға жетуі мүмкін, бұл оны силикатты шикізаттың маңызды көзі етеді [2]. Кремнеземнің жоғары құрамы басқа өсімдік қалдықтарымен салыстырғанда күріш қауызының ерекшелігі болып табылады.

Күріш қауызын қолдану әртүрлі. Ол құрылыс материалдарын (кірпіш, бетон) және белсендірілген көмірді өндіруде биотыңайтқыш ретінде, сондай-ақ суды тазарту үшін адсорбент ретінде қолданылады [13, 14]. Сонымен қатар, ол биоэтанол өндірісі үшін және лигнин мен целлюлоза құрамына байланысты отын ретінде қолданылады [3, 15].

Кәдеге жарату туралы, кремнеземнің жоғары құрамы күріш қауызының табиғи ыдырауын қиындатады. Сондықтан оны одан әрі пайдалану, әсіресе термиялық өңдеу арқылы күлге айналдыру ең тиімді шешім болып саналады [14]. Қазіргі уақытта күріш қауызынан құнды органикалық компоненттерді алудың экологиялық таза әдістеріне ерекше көңіл бөлінеді, бұл әсіресе циркулярлық биоэкономика жағдайында өзекті болып табылады. Целлюлоза, лигнин және гемицеллюлозаның құрамы күріш қауызын биоыдырау және биоэтанол синтезіне жарамды етеді [3, 15]. Аморфты кремнезем минералды күлдің 80-95% құрайды, бұл күріш қауызын кремнезем өндірісі үшін құнды шикізатқа айналдырады [2].

Экстракцияның ең тиімді әдістеріне еріткішті экстракциялау, суперсусини сұйықтықты экстракциялау және ультрадыбыстық экстракция кіреді [16]. Soxhlet экстракциясының артықшылығы – оның жоғары қайталанатын қабілеті және липофильді фракцияларды толығымен қалпына келтіру қабілеті [17]. Күріш қауызынан алынған майларда антиоксиданттық және қабынуға қарсы белсенділігі бар фенолдық антиоксиданттар, стеролдар және токоферолдар бар [18] [19].

Эксперименттік материалдар мен әдістер. Органикалық қосылыстарды алу үшін алты органикалық еріткішті қолдана отырып, зертханалық Soxhlet әдісі қолданылды: ацетон, гексан, хлороформ, этилацетат, ксилол және бензол. Күріш қауызының массасы 30 г болды. Еріткіштің көлемі 250 мл болды. Экстракция әр еріткіштің қайнау температурасында 5 сағат бойы жүргізілді.

Экстракциядан кейін еріткіш айналмалы буландырғышпен алынып, сығынды

өлшенеді. Өнімділік формуласы бойынша есептеледі:

$$\text{Өнімділік (\%)} = (\text{сығынды массасы} / \text{үлгінің массасы}) \times 100$$

Күріш қауызынан май алу үшін агроөнеркәсіптік қалдықтар жуылып, кептіріліп, ұнтақталды. Ұнтақталған күріш қауызының 30 г бөлігі өлшеп, Soxhlet экстракторына орналастырылды. Органикалық еріткіштер (250 мл) 500 мл дөңгелек түбі колбасына қосылды. Экстракция процесі әрбір еріткіштің қайнау температурасында 5 сағат бойы жүргізілді. Алынған нәтижелер 1-кестеде көрсетілген. Сыналған еріткіштердің арасында этилацетат экстракцияның ең жоғары өнімділігін көрсетті.

Глицеролиз реакциясы. Алынған күріш қауызының майы (50 г) 200 мл автоклав типті реакторда 0,75 г катализатор (CaO, NaOH немесе KOH) қатысуымен глицеринмен (25 г) әрекеттеседі. Қоспа азотпен тазартылып, 4 сағат бойы үздіксіз араластыру кезінде 220 ° C дейін қыздырылды. Реакция аяқталғаннан кейін қоспа 160 ° C дейін салқындатылды, ал артық негіз мен шөгінді қоспаларды бейтараптандыру үшін 1,25 мл фосфор қышқылы қосылды. Алынған суспензия сүзгіден өтіп, реакциясыз глицеринді бөлу үшін декантацияланды.

Моноглицеридтерді тазарту. Құрамында моноглицеридтер, диглицеридтер және триглицеридтер бар реакция қоспасы ацетон мен суда ерітілді (3: 1, в / в) және селективті жауын-шашын үшін 5-10 ° C дейін салқындатылды. Диглицеридтер мен триглицеридтер сүзгілеу арқылы алынып тасталды. Моноглицеридпен байытылған ерітінді хлороформды элюент ретінде қолдана отырып, силикагель бағанасының хроматографиясымен одан әрі тазартылды, бұл жоғары тазалық моноглицерид фракцияларын (93% дейін) берді.

Аналитикалық әдістер. Газ хроматографиялық талдау Agilent 7890A/5975C (АҚШ) газ хроматографы-масс-спектрометрі арқылы жүргізілді. Хроматографиялық жағдайлар: жылжымалы фаза (тасымалдаушы газ) – гелий; инжектор температурасы 325 ° C, бөліну қатынасы 1000: 1; пештің температурасы бағдарламасы: бастапқы 50 ° C (1 мин), пандус 5 ° C / мин 280 ° C-қа дейін, 5 минут бойы ұсталады; Талдаудың жалпы ұзақтығы 53 мин. Масс детекторы электронды соққы иондану режимінде жұмыс істеді. Капиллярлық хроматографиялық бағана HP-5МС, ұзындығы 30 м, ішкі диаметрі 0,25 мм, стационарлық фаза – 95% полидиметилсилоксан және 5% фенил-метилполисилоксан..

FTIR спектрлері IR-Prestige 21 спектрометрі (Shimadzu, Жапония, 2008) арқылы 400-4000 см⁻¹ толқын ұзындығы диапазонында арнайы үлгіні дайындаусыз жазылды, DuraSAMPL IR II әлсіреген жалпы шағылыстыру (ATR) аксессуарын қолдана отырып, бір шағылыстырғышы бар (ZnSe субстратындағы гауһар кристаллы) қолданды.

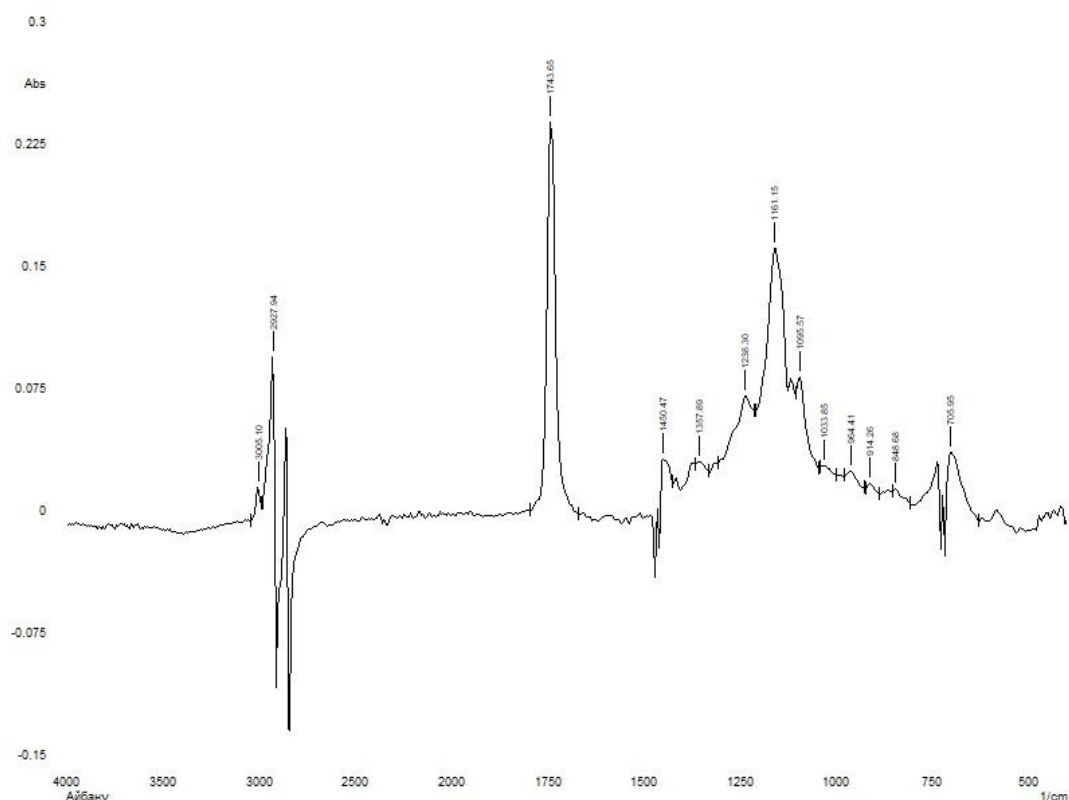
Нәтижелер және талқылау. Экстракцияның тиімділігі. Сыналған еріткіштердің ішінде экстракцияның ең жоғары тиімділігін этилацетат (2,82%), одан кейін ацетон (2,21%) және хлороформ (2,12%) көрсетті. Гексан және бензол сияқты полярлық емес еріткіштер төмен өнімділік көрсетті. Бұл нәтижелер этилацетат өзінің орташа полярлығы мен қолайлы қайнау температурасының арқасында липидті компоненттердің тиімді еруіне ықпал ететінін көрсетеді (1-кесте).

1-кесте – Әр түрлі еріткіштердегі заттың өнімділігі

Жоқ	Еріткіш	Күріш қауызының салмағы, г	Еріткіш көлемі, мл	Алынған заттың массасы, г	Көлемді заттың шығуы, %
1	Этилацетат	30	250	0,8454	2,821
2	Ацетон	30	250	0,6617	2,206
3	Хлороформ	30	250	0,6348	2,116
4	Гексан	30	250	0,5421	1,807
5	Ксилол	30	250	0,5403	1,801
6	Бензол	30	250	0,4886	1,628

Алынған өсімдік майы ИК спектрометр арқылы талданды (1-сурет). Өсімдік майының IR спектрінде сипаттамалық сіңіру жолақтары байқалады: 1743 см⁻¹ кезінде карбонильді

топтың сіңіру жолағы және 1161 см⁻¹ деңгейіндегі қарқынды жолақ, эфир С-О-С байланысының тербелістеріне сәйкес келеді.



1-сурет – Күріш қауызынан алынған өсімдік майының IR спектрі

Глицеролиз. Глицеролиз процесі – бұл триглицеридтер мен глицерин арасындағы қайтымды реакция, ол моно- және диглицеридтердің пайда болуына әкеледі. Мақсатты өнімдердің селективтілігі мен өнімділігіне әсер ететін негізгі параметрлерге температура, реакция уақыты, реагенттердің молярлық қатынасы және катализатордың түрі кіреді. Бұл зерттеуде үш негізгі сілтілі катализатор сыналды: кальций гидроксиді (СаО), натрий гидроксиді (NaOH) және калий гидроксиді (KOH). Әрбір катализатор реакцияның кинетикасы мен тепе-теңдігіне әсер ететін әртүрлі негізділік, ерігіштігі және каталитикалық белсенділігін көрсетеді.

Глицеролиз 220 °С температурада 4 сағат бойы май-глицерин молярлық қатынасы 2:1 және катализатор жүктемесі 1,5% болатын жүргізілді. Барлық реакциялар тотығуды болдырмау үшін азотты тазарту кезінде тығыздалған автоклавтық реакторда жүргізілді.

Сыналған катализаторлардың ішінде калий гидроксиді (KOH) 68% -ға дейін моноглицеридтердің өнімділігін қамтамасыз ете отырып, ең жоғары тиімділікті көрсетті. Бұл оның реакция ортасында жоғары ерігіштігімен және триглицеридтердегі эфир байланыстарының тиімді ыдырауына және глицерин гидроксил тобының белсендіруіне ықпал ететін күшті негіздігімен байланыстырылуы мүмкін. СаО және NaOH да реакцияны жеңілдетті, бірақ өнімділіктің төмендеуіне әкелді: СаО шамамен 66% -ға жетті, ал NaOH 57% -ға жетті. Бұл көрсеткіш олардың ішінара ерімейтіндігімен және қолданылған жағдайларда салыстырмалы түрде төмен негізгі белсенділігімен байланысты болуы мүмкін. Сонымен қатар, СаО өнімнің кейінгі тазартылуын қиындататын шөгінділерді түзу үрдісін көрсетті. [20, 21]

Глицеролиз реакциясы аяқталғаннан кейін алынған реакция қоспасы моно-, ди- және триглицеридтер, қалдық глицерин, еріткіштің іздері және жанама өнім қоспалары бар күрделі матрицаны құрайды. Технологиялық қолдану және азық-түлік және фармацевтика өнеркәсібі стандарттарына сәйкестігін қамтамасыз ету үшін мақсатты моноацилглицериндер (MAG) жоғары дәрежеде тазалықпен оқшаулануы керек.

2-кесте – Глицеролизден кейінгі моноглицеридтердің өнімділігі

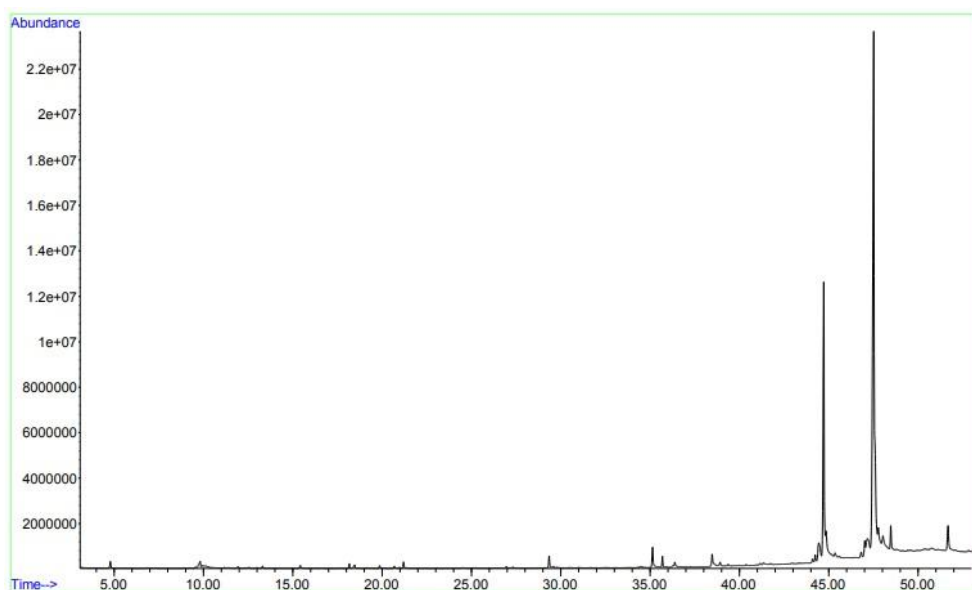
Катализатор	Күріш майы, г	Глицерин, г	Катализатордың массасы, г	Кірістілік, %	Өнімділік, г	Еріткіштің көлемі Ацетон + су, мл
CaO	50	25	0,75	67,44	33,72	487,5
NaOH	50	25	0,75	57,68	34,43	487,5
KOH	50	25	0,75	68,87	28,84	487,5

Тазартудың алғашқы қадамы селективті кристалдану болды. Реакция қоспасы ацетон-су еріткіш жүйесінде (3: 1 В / В) ерітінді, содан кейін ерітінді 5-10 ° С дейін салқындатылды. Осы жағдайларда ди- және триглицеридтер шөгінді болды, ал неғұрлым полярлық моноглицеридтер ерітіндіде қалды [22] [23], [24]. Сұзу ауыр глицеридтер мен механикалық қоспаларды кетіруге мүмкіндік берді.

Екінші негізгі қадам тазарту дәрежесін арттыру үшін жүргізілген силикагельдегі баған хроматографиясы болды. Ол үшін моноглицеридтердің концентрацияланған ерітіндісі силикагельмен қапталған бағанаға жағылды және фракциялық жинау бақылауында хлороформмен элюцияланды. Бұл әдіс полярлық және адсорбция қабілетінің айырмашылығына байланысты липидтік фракцияларды селективті бөлуге мүмкіндік берді [25].

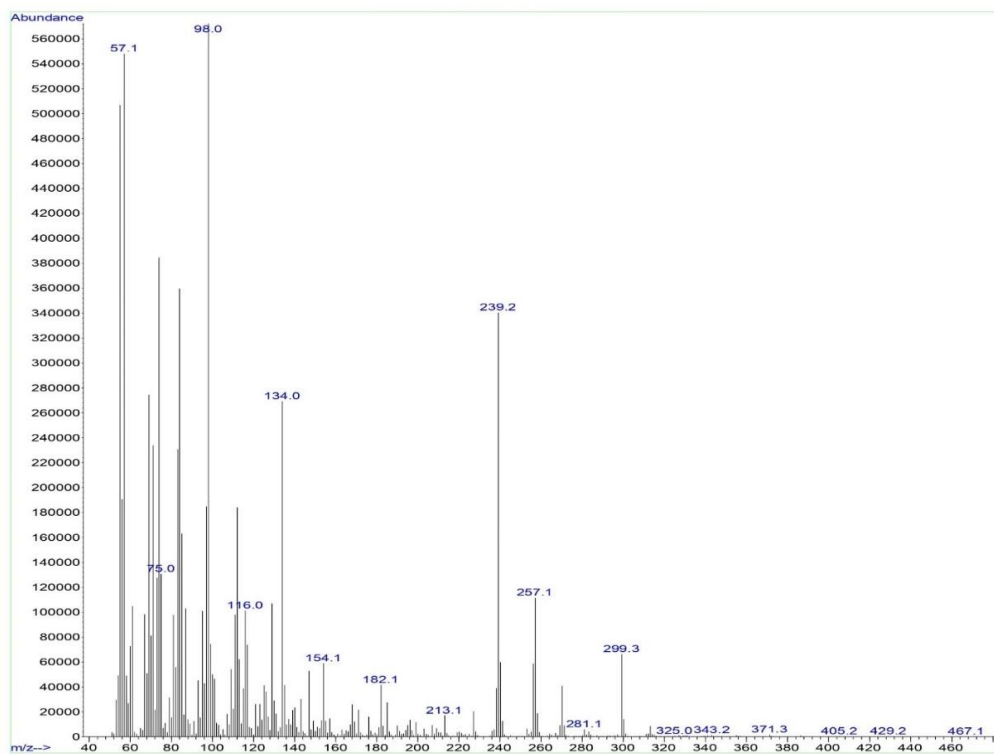
Нәтижесінде, құрамында 93% моноглицеридтер бар фракция алынды, бұл жиналған фракциялардың массасымен және кейінгі аналитикалық бақылаумен расталды. Газ хроматографиясы-масс-спектрометрия негізгі қосылыстардың болуын растады: пальмит қышқылының моноглицериді мен олеин қышқылының моноглицеридтері.

Май қышқылдары мен глицерид фракцияларының құрамын талдау үшін газ хроматографиясы-масс-спектрометриясы қолданылды, олардың массалық спектрлері бойынша жекелеген молекулаларды анықтады. Эфирлердің функционалдық топтарын және олардың байланыс сипаттамаларын растау үшін Фурье түрлендіргіш инфрақызыл спектроскопия қолданылды. Ұсынылған хроматограммада (ГХ-МС) 45,0-52,0 мин ұстау уақытында екі ерекше шыңдар байқалады, бұл қоспада екі негізгі компоненттің болуын көрсетеді. 45 минуттағы шыңы пальмитин қышқылының моноглицеридтеріне сәйкес келеді. 47 минуттағы шыңы алкил тізбегінде бір қос байланыс бар олеин қышқылының моноглицеридтеріне сәйкес келеді (2-сурет). Ерте аймақта (40 минутқа дейін) елеулі шыңдардың болмауы ұшқыш қоспалар мен еріткіштерден үлгінің жоғары тазалығын көрсетеді.



2-сурет – Моноглицерид қоспасының хроматограммасы

Талданған үлгінің массалық спектрі (3-сурет) пальмитин қышқылының моноглицеридінің болуын растайтын сипаттамалық шыңдарды көрсетеді. $m/z = 299,3$ деңгейінде жоғары қарқынды фрагменттік ион байқалады, бұл пальмит қышқылының моноглицеридінің молекулалық массасына сәйкес келеді ($M(C_{19}H_{38}O_4) = 330$ г / моль). Пальмитин қышқылының моноглицеридінің құрамы 27,18% құрады

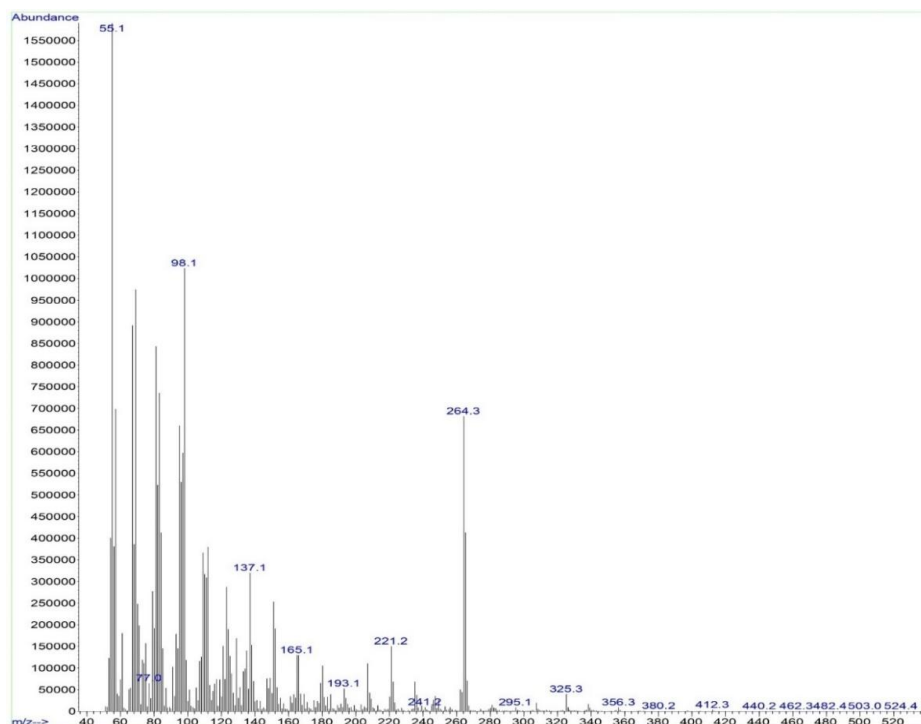


3-сурет – Пальмит қышқылы моноглицеридінің массалық спектрі

Спектрде m/z 57, 75 және 98-де қарқынды фрагменттер байқалады, олар алкил тізбектері бойындағы бөліністерге және молекуланың глицерин бөлігіне тән. m/z 239 және 257 шыңдары пальмит қышқылының қалдықтары бар фрагменттердің болуын көрсетеді. m/z 281-дегі сигнал глицерин омыртқасына бекітілген ұзын тізбекті ацил радикалының болуын растайды.

Осылайша, тіркелген фрагменттердің жиынтығы, соның ішінде қарқынды төмен массалық сигналдар (глицерин бөлігіне тән) және ауыр шыңдар (пальмит тізбегіне тән), пальмит қышқылы моноглицеридінің түзілуін растайды. Алынған деректер май қышқылдарының моноглицеридтерінің масс-спектрлері туралы әдебиет есептеріне сәйкес келеді, бұл зерттелетін қосылыстың құрылымын қосымша растауды қамтамасыз етеді.

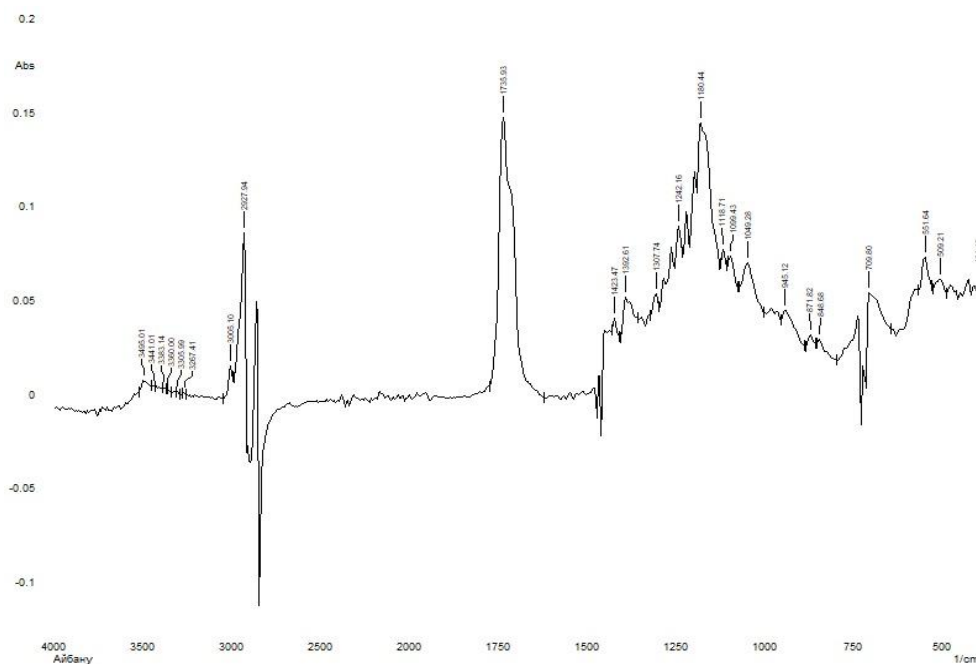
Олеин қышқылының моноглицеридінің массалық спектрі (4-сурет) оның құрылымын растайтын сипаттамалық фрагменттерді көрсетеді. $m/z = 356,3$ деңгейіндегі негізгі ион молекулалық ион $[M]^+$ ретінде түсіндіріледі, бұл $C_{21}H_{40}O_4$ қосылыстың күтілетін молекулалық массасына сәйкес келеді (олеин қышқылы моноглицериді). Олеин қышқылының моноглицеридінің құрамы 72,82% құрады. Байқалатын сипаттамалық фрагменттер келесідей: m/z 356 — молекулалық ион $[M]^+$; m/z 55, 77, 98 — алифаттық тізбектің типтік фрагменттері (көмірсутегі қалдықтары); m/z 137, 165 — глицерин омыртқасының элементтері бар фрагменттер; m/z 221 — көмірсутегі тізбегінің бір бөлігінің жоғалуына жататын ион. m/z 280-325 диапазонындағы төмен қарқындылық шыңдары молекуланың үлкен бөліктеріне немесе қайталама фрагментацияның өнімдеріне сәйкес келеді. m/z 264-тегі басым сигнал бүлінбеген молекуланың болуын көрсетеді, ал фрагменттердің сипаттамалық таралуы олеин қышқылы моноглицеридінің күтілетін бөлшектену үлгісіне сәйкес келеді, осылайша ұсынылған құрылымды растайды.



4-сурет – Олеин қышқылының моноглицеридінің массалық спектрі

MS арқылы анықталған негізгі қосылыстардың молекулалық массалары күтілетін мәндерге сәйкес келді.

Алынған спектрлер (5-сурет) моноглицеридтердің құрылымын растайтын сипаттамалық шыңдарды көрсетті [26-30]. Күріш майынан синтезделген моноглицерид қоспасының ИК спектрлерінде карбонильді топтардың сипаттамалық сіңуі шамамен 1735 см^{-1} деңгейінде байқалады, ал $3000\text{--}3500\text{ см}^{-1}$ аймағындағы кең жолақ гидроксилді топтың сіңуіне сәйкес келеді.



5-сурет – Пальмит және олеин қышқылдарының моноглицеридтері қоспасының ИК спектрі

Осылайша, ұсынылған тәсіл селективті жауын-шашын мен тиімді хроматографиялық тазартуды біріктіреді, бұл азық-түлік, фармацевтикалық және косметикалық өнімдерде эмульгатор ретінде қолдануға жарамды жоғары тазартылған моноглицеридтерді өндіруге мүмкіндік береді.

Қорытынды. Бұл зерттеу агроөнеркәсіптік қалдықтардан – күріш қауызынан функционалды липидті қосылыстарды алудың кешенді және экологиялық тәсілін ұсынады. Өртүрлі органикалық еріткіштерді қолдана отырып, Soxhlet экстракциясы этилацетат 2,82% -ға дейін мұнай өндірудің ең жоғары тиімділігін қамтамасыз ететінін көрсетті. Алынған мұнай құрамында биологиялық белсенді қосылыстар бар және одан әрі химиялық трансформация үшін құнды шикізат ретінде қызмет ете алады.

Келесі негізгі қадам алынған мұнайдың глицеролизі болды, оның барысында үш негіздің - CaO, NaOH және KOH каталитикалық қасиеттері зерттелді. Калий гидроксиді 4 сағаттық реакция кезеңінде 220 ° C температурада 68% -ға дейін моноглицерид өнімділігін қамтамасыз ете отырып, ең жоғары тиімділікті көрсетті.

Мақсатты өнімнің тазалығына қол жеткізу үшін екі сатылы тазарту схемасы қолданылды: ацетон: су жүйесін қолдана отырып, алдын-ала селективті кристалдану, содан кейін силикагельдегі баған хроматографиясы. Бұл тәсіл құрамында 93% моноглицеридтер бар фракцияны оқшаулауға мүмкіндік берді, бұл оны тамақ және фармацевтика өнеркәсібінде қолдануға жарамды етті.

Құрылымдық сәйкестендіру және тазалықты бағалау газ хроматографиясы-масс-спектрометрия (ГХ-МС) және инфрақызыл (ИК) спектроскопияны қоса алғанда, заманауи аналитикалық әдістерді қолдана отырып жүргізілді. Нәтижелер сапа стандарттарына сәйкес келетін пальмит және олеин қышқылы моноглицеридтерінің болуын растады.

Қысқартулар

ASV-6M - Автоматты Soxhlet экстракторы, 6M моделі

GC-MS – Газ хроматографиясы–Масс-спектрометрия

ИК – инфрақызыл спектроскопия

HP-5MS - Жоғары өнімділігі бар капиллярлық бағана (5% фенилметилполисилоксан, GC-де қолданылады)

FTIR - Фурье түрлендіру инфрақызыл спектроскопия

ATR – Өлсіреген жалпы шағылысу коэффициенті

MAG – моноацилглицерид

Қаржыландыру. Зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (грант No. AP23490056) және PhytoAPP EU (2021-2025) аясында Еуропалық Одақтың HORIZON 2020 бағдарламасы 101007642 Мария Склодовская-Кюри гранттық келісімі бойынша қолдау тапты.

Әдебиеттер:

[1] **Chen, H.**, Wang H., Xu C., Zhang S., Li Z., Huang Y., Huang G. Rice husk at a glance: From agro-industrial to modern applications // Rice Science, 2024. – T. 31, № 1. – C. 14-32. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2023.08.005>.

[2] **Appazov, N.O.** Narmanova R.A., Yespanova I.D., Darmaganbet K.K., Akhataev N.A., Kanzhar S.A., Appazova Z.Z., Serikkul A.O., Togyzbayeva N.A., Turmanov R.A., Syzdykbayev M.I., Askarova G.S. Technology for Obtaining Silicon Dioxide from Rice Husk Using Microwave Irradiation // Advanced Journal of Chemistry. Section A, 2026. – T. 9, № 1. – C. 44-55. <https://doi.org/10.48309/AJCA.2026.524934.1857>

[3] **Appazov, N. O.**, Espanova I. D., Niyazova D. Zh., Moldanazar A.A., Zhapparbergenov R.U., Turmanov R. A., Toibazarova A.B., Appaz A. N., Syzdykbayev M. I., Extraction of cellulose from rice straw by microwave irradiation // Bulgarian Chemical Communications, 2025. – Vol. 57, No. 1. – C. 14-19. <https://doi.org/10.34049/bcc.57.1.5609>.

[4] **Zhang, H.**, Xu C., Lu Y., Hansen I., Yin H. Lipophilic compounds from maize fiber and rice husk residues – An overview // Journal of Biotechnology, 2020. – T. 305. – C. 115-125. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2020.01.019>.

- [5] **Liu, H.**, Yang J., Xu Y., Wen J., Zhou J., Xu Z., Li J., Sun X., Si W. Effects of Glycerol Monooleate on Improving Quality Characteristics and Baking Performance of Frozen Dough Breads // *Foods*, 2025. – Vol. 14, No. 2. – Article 326. <https://doi.org/10.3390/foods14020326>
- [6] **Temelli, F.**, Halley P., Stout J.E., Cremaschi P., Neveu C. Conversion of oils to monoglycerides by glycerolysis in supercritical carbon dioxide. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1996. – vol. 73. – no. 3. – pp. 385-390. <https://doi.org/10.1007/BF02517943>
- [7] **Nitbani, F.O.**, Tjitda P.J.P., Nurohmah B.A., Wogo H.E. Preparation of Fatty Acid and Monoglyceride from Vegetable Oil. *J. Oleo Sci.*, 2020. – vol. 69. – no. 4. – pp. 277-295. <https://doi.org/10.5650/jos.ess19168>
- [8] **Hobuss, C.B.**, da Silva F.A., dos Santos M.A.Z., de Pereira C.M.P., Schulz G.A.S., Bianchini D. Synthesis and characterization of monoacylglycerols through glycerolysis of ethyl esters derived from linseed oil by green processes. *RSC Adv.*, 2020. – vol. 10. – no. 4. – pp. 2327-2336. <https://doi.org/10.1039/C9RA07834G>
- [9] **Temelli, F.**, Brennecke J.F., Magda J.J. Kinetic modeling of glycerolysis for soybean oil in supercritical CO₂. *J. Supercrit. Fluids*, 2005. – vol. 34. – no. 2, pp. 181-188. <https://doi.org/10.1007/s11746-005-1118-x>
- [10] **Wei, T.**, Zhang S., Zhong J., et al. Monoacylglycerol synthesis by glycerolysis of soybean oil using alkaline ionic liquid. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2015. – vol. 54. – no. 18. – pp. 4944-4951. <https://doi.org/10.1021/ie5049548>
- [11] **Mu, J.**, Harris C., Tay E.-H. Enhanced glycerolysis of fatty acid methyl ester by static mixer: kinetic analysis and optimal conditions for monoglyceride and diglyceride production // *ACS Omega*, 2024. – (Early Access). <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c04858>
- [12] **Neji, S. B.**, Chaari A., Ladero Galán M., Frikha F., Bouaziz M. Application of Box–Behnken design in production of monoglyceride with esterification of glycerol and oleic acid // *ACS Omega*, 2023. – Vol. 8, No. 31. – P. 28813-28820. DOI: 10.1021/acsomega.3c03772
- [13] **Narmanova, R.**, Yespanova I., Kanzhar S., Yusupova L., Abildaev N. Effect of rice husk biochar additive on concrete properties // *AIP Conference Proceedings*, 2024. – Vol. 3243, No. 1. – Art. 020055. <https://doi.org/10.1063/5.0247632>
- [14] **Suerbaev, K.A.**, Chepaikin, E.G., Appazov, N.O. et al. Hydroalkoxycarbonylation of isobutylene with polyhydric alcohols in the presence of catalytic systems based on palladium compounds and tertiary phosphines. *Pet. Chem.* 52, 189-193 (2012). <https://doi.org/10.1134/S0965544112030127>
- [15] **Fathurahman, R.**, Surjosatyo A. Utilization of rice husks as a fuel for gasification – A review // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2022. – Vol. 1034. – Art. 012065. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1034/1/012065>.
- [16] **Yuan, Y.**, Yue, Q., & Gao, B. (2020). A comprehensive review on the utilization of rice husk and its bioactive compounds for industrial applications. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123978. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123978>
- [17] **Mehta, R.**, Bahadur, D., & Tiwari, A. (2019). Soxhlet extraction of bioactive compounds from agro-waste: Efficiency and kinetics. *Industrial Crops and Products*, 139, 111519. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111519>
- [18] **Kaur, S.**, Ubeyitogullari A. Extraction of phenolic compounds from rice husk via ethanol-water-modified supercritical carbon dioxide // *Heliyon*. – 2023. – T. 9, № 3. – C. e14196. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14196>.
- [19] **Satyawali, Y.**, Cauwenberghs L., Maesen M., Dejonghe W. Lipase catalyzed solvent free synthesis of monoacylglycerols in the presence of pervaporation for water removal // *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 2021. – Vol. 166. – Art. 108475. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108475>
- [20] **Silveira, D.G.**, Sampaio R.M., Sant’Ana H.B. Production of mono- and diglycerides via glycerolysis using alkaline earth metal oxides as catalysts // *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2015. – Vol. 54, no. 18. – P. 4944-4951. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b00317>
- [21] **Gomes, J.F.**, Souza A.G., Fernandes V.J. Efficient production of monoglycerides from vegetable oils by glycerolysis using heterogeneous base catalysts // *Journal of the American Oil Chemists’ Society*, 2019. – Vol. 96. – P. 131-143. <https://doi.org/10.1002/aocs.12184>
- [22] **Luo, H.**, Zhai Z., Fan W., Cui W., Nan G., Li Z. Monoacylglycerol synthesis by glycerolysis of soybean oil using alkaline ionic liquid // *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2015. – Vol. 54, No. 18. – P. 4923-4928. <https://doi.org/10.1021/ie5049548>

- [23] **Ghanbari, R.**, Ghaedi M., Asfaram A., Hajati S. Separation of monoglycerides using adsorption chromatography: A comparative study // Separation and Purification Technology, 2018. – Vol. 199. – P. 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.01.050>
- [24] **Beltrán, M.T.**, Sanz M.T., Beltrán S. Purification of monoacylglycerols by column chromatography: A green process approach // Journal of Chromatography A., 2016. – Vol. 1453. – P. 105-113. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2016.05.070>
- [25] **Hobuss, C.B.**, da Silva F. A., dos Santos M. A. Z., de Pereira C. M. P., Schulz G. A. S., Bianchini D. Synthesis and characterization of monoacylglycerols through the glycerolysis of ethyl ester mixture (biodiesel) from linseed oil // RSC Advances, 2020. – Vol. 10, No. 4. – P. 2327-2336. <https://doi.org/10.1039/C9RA07834G>
- [26] **Kralova, I.**, & Sjöblom, J. (2009). Analytical methods in lipid research: IR and MS techniques in the characterization of mono- and diglycerides. Advances in Colloid and Interface Science, 146(1–2), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2008.08.001>
- [27] **Zeng, J.**, et al. (2013). Identification of monoglycerides and diglycerides by GC–MS and FT-IR techniques. Food Chemistry, 141(3), 3606-3611. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.029>
- [28] **Appazov, N.O.**, Syzdykbayev M.I., Appaz A.N., Nazarov E.A., Darmagambet K.Kh., Balykbayeva G.T., Abzhalelov B.B., Askarova G.Sh., Kim Yu.A. Microwave activation of isovaleric acid monoglyceride synthesis and its antimicrobial activity // Bulgarian Chemical Communications, 2024. – Vol. 56, No. 1. – P. 9-13. <https://doi.org/10.34049/bcc.56.1.5611>.
- [29] **Suerbaev, H.** & Chepaikin, Evgeniy & Dzhiembaev, B. & Appazov, N. & Abyzbekova, Gulmira. (2007). Catalytic hydroxycarbonylation of isobutylene with carbon monoxide and polyhydric alcohols in the presence of the Pd(acac) 2 PPh 3 -TsOH system. Petroleum Chemistry - PETROL CHEM-ENGL TR. 47. 345-347. <https://doi.org/10.1134/S0965544107050064>
- [30] **Chugunova, E.**, Gazizov A, Sazykina M, Akyzbekov N, Gildebrant A, Sazykin I, Burilov A, Appazov N, Karchava S, Klimova M, Voloshina A, Sapunova A, Gumerova S, Khamatgalimov A, Gerasimova T, Dobrynin A, Gogoleva O, Gorshkov V. Design of Novel 4-Aminobenzofuroxans and Evaluation of Their Antimicrobial and Anticancer Activity. Int J Mol Sci. 2020 Nov 5;21(21):8292. <https://doi.org/10.3390/ijms21218292>. PMID: 33167439; PMCID: PMC7663979.

ПОЛУЧЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА ИЗ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ И СИНТЕЗ МОНОГЛИЦЕРИДОВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ НА ЕГО ОСНОВЕ

Алимхан Б.Г., магистрант

Канжар С.А., магистрант

Тапалова А.С., кандидат химических наук

Аппазов Н.О., кандидат химических наук, профессор

Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан

Аннотация. Рисовая шелуха представляет собой один из наиболее массовых побочных продуктов агропромышленного комплекса, содержащий остаточные количества растительного масла, обогащённого ненасыщенными жирными кислотами. В настоящем исследовании разработана экологически ориентированная и высокоэффективная методика трансформации биомассы рисовой шелухи в моноглицериды — соединения, обладающие существенной промышленной значимостью. Экстракция масла осуществлялась в полуавтоматическом аппарате Сокслета (ASV-6M) с применением этилацетата, который среди шести протестированных экстрагентов продемонстрировал наивысшую эффективность, обеспечив выход масла до 2,82%. Полученный экстракт подвергался каталитическому глицеролизу в присутствии КОН при умеренных условиях давления и температуры (220 °С, 4 ч), что позволило достичь содержания моноглицеридов порядка 68%. Очищение продукта проводилось по двухступенчатой схеме: кристаллизацией в ацетон-водной системе с последующей колонной хроматографией на силикагеле, в результате чего удавалось получать моноглицериды с чистотой до 93%. Структурно-композиционный анализ осуществлялся методами газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ–МС) и инфракрасной (ИК) спектроскопии, что подтвердило присутствие основных эфиров — моноглицеридов пальмитиновой и олеиновой кислот. Результаты масс-спектрометрии согласуются с теоретическими молекулярными массами целевых соединений, тогда как ИК-спектры выявили характерные полосы поглощения, соответствующие функциональным группам эфирного и гидроксильного типа.

Ключевые слова: рисовая шелуха; экстракция; растительное масло; моноглицериды пальмитиновой и олеиновой кислот.

PRODUCTION OF VEGETABLE OIL FROM RICE HUSK AND SYNTHESIS OF FATTY ACID MONOGLYCERIDES BASED ON IT

Alimkhan B.G., master

Kanzhar S.A., master

Tapalova A.S., Candidate of Chemical Sciences

Appazov N.O., Candidate of Chemical Sciences, Professor

Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

Abstract. Rice husk is one of the most abundant by-products of the agro-industrial sector, containing residual amounts of vegetable oil enriched with unsaturated fatty acids. In this study, an efficient approach was developed for the conversion of rice husk biomass into monoglycerides — compounds of considerable industrial importance. Oil extraction was carried out in a semi-automatic Soxhlet apparatus (ASV-6M) using ethyl acetate, which, among six tested solvents, demonstrated the highest extraction efficiency, yielding up to 2.82% oil. The extracted oil was subjected to catalytic glycerolysis in the presence of KOH under moderate pressure and temperature conditions (220 °C for 4 h), resulting in a monoglyceride content of approximately 68%. The crude product was purified using a two-step procedure involving crystallization in an acetone–water system followed by column chromatography on silica gel, which afforded monoglycerides with a purity of up to 93%. Structural and compositional characterization was performed by gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) and infrared (IR) spectroscopy, confirming the presence of key esters, such as monoglycerides of palmitic and oleic acids. Mass spectrometry data were consistent with the molecular weights of the target compounds, while IR spectra revealed characteristic absorption bands corresponding to ester and hydroxyl functional groups.

Keywords: rice husk; extraction; vegetable oil; monoglycerides of palmitic and oleic acids.

CONTEXT-BASED NANOCHEMISTRY TASKS IN A COLLOID CHEMISTRY COURSE: EFFECTS ON STUDENTS' CONCEPTUAL UNDERSTANDING AND FUNCTIONAL LITERACY

Niyazova D., Doctoral candidate

dinara.niyazova88@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2698-1209>

Tapalovam A., Candidate of technical sciences, professor

anipa52@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7556-2380>

Akylbekov N., PhD, Associate professor

nurgaliakylbekov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7584-9741>

Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

Abstract. This study explored whether context-based nanochemistry tasks can strengthen students' conceptual understanding and functional literacy in colloid chemistry. Twenty-seven third-year Chemistry students at Korkyt Ata Kyzylorda University took part. Because the university has only one group per year in this specialty, a single-group pre-test/post-test design was used, and no control group was included. For six weeks, the colloid chemistry course included tasks that connected core colloid concepts to real uses of nanotechnology: the antibacterial effect of silver nanoparticles, nanomaterials for water purification, and nanoparticles as drug carriers. Before and after the intervention, students completed a 19-item test developed by the authors. The test combined multiple-choice items with open-ended questions that asked students to explain mechanisms and apply concepts to new situations. Mean scores rose from 12.81 (67.5%) to 14.96 (78.8%). The gain was statistically significant ($t(26) = 9.31$, $p < 0.001$), and the effect size was large (Cohen's $d = 1.79$). No student's score decreased. These findings suggest that context-based nanochemistry tasks are a promising way to link colloid chemistry content with modern applications and to develop students' ability to use chemical knowledge in real-life situations.

Keywords: nanochemistry education, context-based learning, conceptual understanding, functional literacy, colloid chemistry.

Introduction. Colloid chemistry is one of the most natural places in the chemistry curriculum to introduce nanochemistry, since colloidal systems and nanoparticles share the same size range and many of the same properties. Yet in a typical course, students meet these ideas mainly through definitions and textbook problems, and they rarely see how the same concepts explain phenomena they encounter outside the classroom. Traditional, decontextualized teaching often leaves students unable to transfer what they know to unfamiliar situations. Context-based tasks address this problem by placing chemical concepts inside meaningful, real-world scenarios. In this way, they can support two related outcomes: conceptual understanding and functional literacy, that is, the ability to use scientific knowledge in everyday life.

Nanoscience is well suited to context-based learning (CBL) because it draws on chemistry, physics, materials science and biology at once. For example, used spherical nucleic acids (SNAs) as "programmable atom equivalents" to revisit core general chemistry topics, including atomic structure, periodicity, Lewis structures and VSEPR theory, through the lens of current research [1].

Several studies report positive effects of this approach. Demircioğlu and Özdemir found that prospective teachers taught through a context-based approach understood nanoscale concepts significantly better than those taught traditionally [2]. Avargil and Piorko showed that context-based, multi-model chemistry instruction helped high school students develop a deeper understanding of molecular representations [3]. Tasks built around social and environmental issues appear particularly useful for developing functional literacy, in line with the priorities of international frameworks such as PISA [4, 5].

Nanochemistry content can also foster higher-order thinking, including question-posing and problem-solving skills [6, 7]. However, non-routine, context-rich tasks tend to increase students' cognitive load. For this reason, they work best when supported by scaffolding and formative assessment [8, 9]. Interest in contextual approaches is also reflected in curriculum reforms, such as

Indonesia's Merdeka Curriculum [10], and in work on assessing chemical literacy through contextual tasks [11].

On the practical side, a number of laboratory modules show how nanoparticle synthesis and characterization can be brought into teaching. Examples include the preparation of polymeric nanoparticles [12], microreactor synthesis of inorganic nanoparticles [13], nanoparticle characterization in chemical engineering courses [14] and organic semiconductor nanoparticles for printed electronics [15]. Together, these studies offer a methodological basis for including nanochemistry in colloid chemistry laboratory work.

Nevertheless, few studies have examined how context-based nanochemistry tasks affect conceptual understanding and functional literacy together within a single intervention, and no such data are available for Kazakhstani universities. This study addresses that gap. It evaluates how a set of context-based nanochemistry tasks, embedded in a colloid chemistry course, influenced the conceptual understanding and functional literacy of Chemistry students at Korkyt Ata Kyzylorda University.

Materials and Methods. Participants and design. The study took place at Korkyt Ata Kyzylorda University. All 27 third-year students of the Chemistry specialty who were taking the colloid chemistry course participated. Since the specialty has only one group per year, forming a separate control group was not possible. For this reason, a single-group pre-test/post-test design was used. [Students were informed about the aims of the study and participated voluntarily; the results did not affect their course grades.]

Intervention. For six weeks, context-based nanochemistry tasks were included in the regular colloid chemistry course. Each task started from a real-world application of nanotechnology and asked students to explain it using colloid chemistry concepts. The contexts were the antibacterial action of silver nanoparticles, the use of nanomaterials in water purification and nanoparticles as drug carriers. [For example, in the silver nanoparticle task, students were asked to ...] Instead of reproducing textbook definitions, students had to apply familiar concepts to situations they had not met before. [The tasks were completed during practical classes / as homework, individually / in small groups.]

Instrument. Conceptual understanding and functional literacy were measured with a 19-item test developed by the authors. The [N] multiple-choice items mainly assessed conceptual understanding. The [N] open-ended items required students to explain mechanisms or apply concepts to new nanochemistry contexts, and they mainly assessed functional literacy. [Open-ended answers were scored 0–1 using a rubric; the test was reviewed by two experienced chemistry lecturers for content validity.] The same test was given immediately before and immediately after the six-week intervention.

Data analysis. Pre-test and post-test scores were compared using a paired-samples t-test. Effect size was calculated as Cohen's d for paired samples (d_z). [Analyses were performed in SPSS / Excel / JASP.]

Results and Discussion. Descriptive statistics of the pre- and post-test results are presented in Table 1.

Table 1 – Descriptive statistics of the pre- and post-test results

Indicator	Pre-test	Post-test
Mean score (out of 19)	12.81	14.96
Mean percentage	67.5%	78,8%
Standard deviation	1.47	1.16
Minimum – Maximum	9-15	12-17

After the intervention, the mean score rose from 12.81 (67.5%) to 14.96 (78.8%) out of 19, an average gain of 2.15 points. The paired-samples t-test showed that this gain was statistically significant ($t(26) = 9.31$, $p < 0.001$), and the effect size was large ($d_z = 1.79$). At the individual

level, 25 of the 27 students improved their scores, two scored the same on both tests, and no student's score decreased. [Gains were larger on the open-ended items (from ...% to ...%) than on the multiple-choice items (from ...% to ...%).] [The largest improvement was observed on items about ..., while items on ... remained difficult for many students.]

These results are in line with earlier studies in which context-based teaching improved students' understanding of nanoscale concepts [2, 3]. The open-ended items asked students to apply colloid chemistry concepts to unfamiliar situations, such as explaining why silver nanoparticles are antibacterial. These items reflect the functional-literacy dimension emphasized in PISA-type frameworks [5]. The gains on these items suggest that the context-based tasks helped students not only recall concepts but also begin to use them in new situations, which is consistent with the findings of Ramachandran and Singewald [4]. For example, in the pre-test many students described, whereas in the post-test they explained.

The study has several limitations. First, because there was no control group, the improvement cannot be attributed to the intervention alone. Maturation, familiarity with the test, since the same instrument was used twice, and learning in other courses may also have contributed. Second, the tasks were taught and the tests were scored by the researchers themselves, which may have introduced bias. Third, the sample was small ($n = 27$) and came from a single group at one university, so the results cannot be generalized widely. Future studies should use quasi-experimental designs with comparison groups at several universities. They should also analyse conceptual understanding and functional literacy separately to see which of them responds more to context-based tasks. Since such tasks increase cognitive load, the role of scaffolding also deserves attention [8].

Conclusion. In this study, context-based nanochemistry tasks were included in a colloid chemistry course for third-year Chemistry students over six weeks. After the intervention, students' scores on a test combining multiple-choice and open-ended items were significantly higher than before it, which suggests that their conceptual understanding and functional literacy improved. Linking colloid chemistry topics to familiar applications of nanotechnology, such as antibacterial silver, water purification and drug delivery, appears to be a practical way to show students that the concepts they learn are relevant beyond the textbook. [In our experience, such tasks can be introduced without major changes to the existing syllabus, for example, as part of practical classes.] Because the study had no control group and involved a single group of students, these results should be treated as preliminary. Studies with comparison groups at several universities are needed to confirm them.

References:

- [1] **Petrosko, S.H.**, Coleman B.D., Drout R. J., Schultz J. D., Mirkin C. A. Spherical nucleic acids: Integrating nanotechnology concepts into general chemistry curricula // *Journal of Chemical Education*, 2021. – Vol. 98, No. 10. – P. 3090-3099.
- [2] **Demircioğlu, H.**, Özdemir R. The effect of context-based learning approach on prospective teachers' understanding of nanotechnology // *Journal of Computer and Education Research*, 2019. – Vol. 7, No. 14. – P. 314-336.
- [3] **Avargil, S.**, Piorko R. High school students' understanding of molecular representations in a context-based multi-model chemistry learning approach // *International Journal of Science Education*, 2022. – Vol. 44, No. 11. – P. 1738-1766.
- [4] **Ramachandran, R.**, Singewald K. Integrating socioculturally contextualized worksheets in a large general chemistry course // *Journal of Chemical Education*, 2026. – Vol. 103, No. 3. – P. 1362-1370. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c01080>.
- [5] **Kachalova, G. S.** Chemical literacy as a component of the natural scientific literacy of students // *Journal of Pedagogical Innovations*, 2021. – No. 3. – P. 77-85.
- [6] **Abu Much, R.**, Deeb A. Bridging nanoscience and chemistry as a lever for developing higher-order questioning skills among high school students // *Education Sciences*, 2026. – Vol. 16, No. 7. – Art. 1137.

- [7] **Nixon, K.L.**, Crabb E. M., Seery M. K. A cocurricular context-based enrichment program to enhance scientific skills development // Journal of Chemical Education, 2024. – Vol. 101, No. 7. – P. 2656-2664.
- [8] **Broman, K.**, Bernholt S., Parchmann I. Using model-based scaffolds to support students solving context-based chemistry problems // International Journal of Science Education, 2018. – Vol. 40, No. 10. – P. 1176-1197.
- [9] **Vogelzang, J.**, Admiraal W. F. Classroom action research on formative assessment in a context-based chemistry course // Educational Action Research, 2017. – Vol. 25, No. 1. – P. 155-166.
- [10] **Hernani, H.**, Nurhadi A. R., Mudzakir A. [et al.]. Design and implementation of contextual chemistry learning oriented towards science literacy to support the implementation of the Merdeka Curriculum // Jurnal Pengabdian Isola, 2024. – Vol. 3, No. 1. – P. 179-185.
- [11] **Ruslan, Z.A.**, Agus J. Analisis kemampuan literasi kimia mahasiswa melalui pemberian soal berbasis kontekstual // Chemistry Education Review (CER), 2024. – Vol. 7, No. 2. – Art. 114.
- [12] **Ramalho, M.J.**, Pereira M. C. Preparation and characterization of polymeric nanoparticles: An interdisciplinary experiment // Journal of Chemical Education, 2016. – Vol. 93, No. 8. – P. 1446-1451.
- [13] **Emmanuel, N.**, Emonds-Alt G., Lismont M., Eppe G., Monbaliu J.-C. M. Exploring the fundamentals of microreactor technology with multidisciplinary lab experiments combining the synthesis and characterization of inorganic nanoparticles // Journal of Chemical Education, 2017. – Vol. 94, No. 6. – P. 775-780.
- [14] **Vahedi, A.**, Farnoud A.M. Novel experimental modules to introduce students to nanoparticle characterization in a chemical engineering course // Journal of Chemical Education, 2019. – Vol. 96, No. 9. – P. 2029-2035.
- [15] **Bull, J.**, Cottam S., Gill I., Dastoor P., Holmes N. Organic semiconductor nanoparticle synthesis and characterization for printed electronics applications: An undergraduate laboratory // Journal of Chemical Education, 2023. – Vol. 100, No. 7. – P. 2724-2732.

КОЛЛОИДТЫҚ ХИМИЯ КУРСЫНДА НАНОХИМИЯ БОЙЫНША КОНТЕКСТТІК ТАПСЫРМАЛАРДЫ ҚОЛДАНУ СТУДЕНТТЕРДІҢ КОНЦЕПТУАЛДЫҚ ТҮСІНІГІ МЕН ФУНКЦИОНАЛДЫҚ САУАТТЫЛЫҒЫНА ӘСЕРІ

Ниязова Д.Ж., докторант

Тапалова Ә.С., техника ғылымдарының кандидаты, профессор

Ақылбеков Н.И., PhD, қауымдастырылған профессор (доцент)

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан

Андатпа. Зерттеуде нанохимия бойынша контексттік тапсырмалардың коллоидтық химия курсына студенттердің концептуалдық түсінігі мен функционалдық сауаттылығын дамытуға ықпал ете ме, жоқ па, соны анықтау көзделді. Зерттеуге Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университетінің «Химия» мамандығының 3-курсында оқитын 27 студент қатысты. Бұл мамандықта әр курста бір ғана топ болғандықтан, бақылау тобынсыз бір топтық пре-тест/пост-тест дизайны қолданылды. Алты апта бойы коллоидтық химия курсына коллоидтық химияның негізгі ұғымдарын нанотехнологияның нақты қолданыстарымен байланыстыратын тапсырмалар енгізілді. Олар күміс нанобөлшектерінің антибактериялық әсері, суды тазартуда наноматериалдарды қолдану және нанобөлшектерді дәрілік заттарды тасымалдаушы ретінде пайдалану тақырыптарын қамтыды. Интервенцияға дейін және одан кейін студенттер оқытушы әзірлеген 19 тапсырмадан тұратын тест орындады. Тест жауап таңдауға арналған тапсырмалар мен құбылыстардың механизмін түсіндіруді және ұғымдарды жаңа жағдайларда қолдануды талап ететін ашық сұрақтардан құралды. Орташа балл 12,81-ден (67,5%) 14,96-ға (78,8%) дейін өсті. Өсім статистикалық тұрғыдан маңызды ($t(26) = 9,31$; $p < 0,001$), эффект өлшемі жоғары (Козн $d=1,79$). Бірде-бір студенттің нәтижесі төмендеген жоқ. Алынған нәтижелер нанохимия бойынша контекстік тапсырмалар коллоидтық химия мазмұнын заманауи қолданыстармен байланыстырудың және студенттердің химиялық білімді нақты өмірлік жағдайларда қолдану дағдысын дамытудың перспективалы құралы бола алатынын көрсетеді.

Тірек сөздер: нанохимиялық білім беру; контекстке негізделген оқыту; концептуалдық түсінік; функционалдық сауаттылық; коллоидтық химия.

ВЛИЯНИЕ КОНТЕКСТНЫХ ЗАДАНИЙ ПО НАНОХИМИИ НА КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПОНИМАНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ ГРАМОТНОСТЬ СТУДЕНТОВ В КУРСЕ КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ

Ниязова Д.Ж., докторант

Тапалова А.С., кандидат технических наук, профессор

Акылбеков Н.И., PhD, ассоциированный профессор (доцент)

Кызылординский университет имени Коркыт Ата, г. Кызылорда, Казахстан

Аннотация. В исследовании изучалось, способствуют ли контекстные задания по нанохимии развитию концептуального понимания и функциональной грамотности студентов в курсе коллоидной химии. В исследовании приняли участие 27 студентов 3 курса специальности «Химия» Кызылординского университета имени Коркыт Ата. Поскольку по данной специальности на каждом курсе обучается лишь одна группа, был применён одnogрупповой дизайн с пре- и пост-тестированием без контрольной группы. В течение шести недель в курс коллоидной химии были включены задания, связывающие основные понятия коллоидной химии с реальными применениями нанотехнологий: антибактериальным действием наночастиц серебра, использованием наноматериалов для очистки воды и наночастицами как носителями лекарственных веществ. До и после интервенции студенты выполняли разработанный авторами тест из 19 заданий. Тест включал задания с выбором ответа и открытые вопросы, требующие объяснить механизмы явлений и применить понятия в новых ситуациях. Средний балл вырос с 12,81 (67,5%) до 14,96 (78,8%). Прирост статистически значим ($t(26) = 9,31$; $p < 0,001$), величина эффекта высокая (d Коэна = 1,79). Ни у одного студента результат не снизился. Полученные данные позволяют предположить, что контекстные задания по нанохимии являются перспективным средством связи содержания коллоидной химии с современными применениями и развития у студентов умения использовать химические знания в реальных жизненных ситуациях.

Ключевые слова: нанохимическое образование; контекстное обучение; концептуальное понимание; функциональная грамотность; коллоидная химия.

КОМПЛЕКСЫ МЕДИ(II) И ВАНАДИЯ(IV) С РЕДОКС-АКТИВНЫМИ BIAN-ЛИГАНДАМИ В ГОМОГЕННОМ КАТАЛИТИЧЕСКОМ ОКИСЛЕНИИ ЦИКЛОГЕКСАНА ПЕРОКСИДОМ ВОДОРОДА

Фоменко Я.С., кандидат химических наук

fomenko@niic.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7916-5008>

Гушин А.Л., доктор химических наук

a.gushchin@g.nsu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3214-1433>

Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

Аннотация. Окисление циклогексана до смеси циклогексанола и циклогексанона (так называемого КА-масла) – ключевая стадия получения сырья для синтеза нейлона-6 и нейлона-6,6. Действующая промышленная технология требует высокой температуры и давления и отличается низкой степенью превращения углеводорода, поэтому поиск каталитических систем, работающих в мягких условиях, остается актуальной задачей. Цель работы – обобщить и сопоставить данные о каталитической активности моно- и биядерных комплексов меди(II) (1–5) и оксидованадия(IV) (6–9) с редокс-активными бис(арилимино)аценафтенами (BIAN) в окислении циклогексана пероксидом водорода. Комплексы получены взаимодействием галогенидов меди(II) или соединений ванадия с R-bian и охарактеризованы методами элементного анализа, ИК-, ЭПР- и электронной спектроскопии, а также рентгеноструктурного анализа. Каталитические испытания проведены в ацетонитриле при 50 °С и атмосферном давлении; продукты определяли методом газовой хроматографии до и после восстановления реакционной смеси трифенилфосфином. Суммарный выход кислородсодержащих продуктов достигал 31–42 % (TON до 380), наибольшую активность проявила система [VO(2-Me-Ph-bian)(H₂O)Cl₂]/PCA/H₂O₂. Основным первичным продуктом является циклогексилгидропероксид. Параметры региоселективности и связевой селективности свидетельствуют о радикальном механизме с участием гидроксильных радикалов. Комплексы также катализируют окисление вторичных спиртов *трет*-бутилгидропероксидом с выходом кетона до 94 %.

Ключевые слова: циклогексан, гомогенный катализ, комплексы меди(II), комплексы ванадия(IV), BIAN-лиганды.

Введение. Насыщенные углеводороды составляют основную часть нефти и природного газа и потому служат главным сырьем для химической, фармацевтической и ряда других отраслей. Однако прочность связей С–Н и С–С делает алканы малореакционноспособными, и их превращение обычно возможно лишь при участии катализаторов и в жестких условиях. Одним из наиболее востребованных путей функционализации алканов является оксигенация – введение атома кислорода по связи С–Н, приводящее к спиртам, кетонам, альдегидам и карбоновым кислотам [1–5].

В промышленности такие процессы проводят, как правило, на гетерогенных катализаторах при повышенных температуре и давлении. Альтернативу составляют гомогенные системы на основе комплексов переходных металлов, в которых окислителем выступают пероксиды – пероксид водорода, алкилгидропероксиды, надкислоты. Они позволяют вести окисление при атмосферном давлении и умеренной температуре. Во многих подобных системах активной частицей является гидроксильный радикал ([•]ОН) [6], и по аналогии с классической реакцией Фентона их называют фентоноподобными [7, 8]. К этой группе относятся, в частности, комплексы ванадия и меди с N-донорными лигандами, зарекомендовавшие себя эффективными катализаторами оксигенации алканов и окисления других органических субстратов [6, 7, 9–22].

Особое место среди N-донорных лигандов занимают бис(арилимино)аценафтены (BIAN, R-bian) – сопряженные α-диимины, в которых 1,4-диазабутадиеновый фрагмент сочленен с нафталиновым остовом. Благодаря акцепторному характеру и способности обратимо принимать до четырех электронов эти лиганды проявляют богатую окислительно-

восстановительную химию [23]. В катализе редокс-неинноцентность BIAN может проявляться двояко: лиганд либо выступает «наблюдателем» (spectator), изменяя электронные свойства и льюисову кислотность металлоцентра без непосредственного контакта с субстратом, либо становится «участником» (actor) – формирует лиганд-центрированные радикалы, принимающие участие в разрыве и образовании связей, или активирует субстрат совместно с металлом [24, 25]. Поэтому комплексы с BIAN активно изучаются в самых разных каталитических превращениях [23–26]. Окисление циклогексана в смесь циклогексанола и циклогексанона (КА-масло) является крупнотоннажным процессом, обеспечивающим сырьем производство нейлона-6 и нейлона-6,6 [36]. В промышленности его ведут воздухом или кислородом в присутствии солей кобальта или марганца при 150–160 °С и давлении 10–20 атм, причем конверсию углеводорода ограничивают несколькими процентами, чтобы избежать переокисления. Это обуславливает актуальность поиска каталитических систем, эффективных в мягких условиях. Ранее нашей группой были синтезированы комплексы меди и ванадия с R-bian и родс-твенными дииминами и изучена их активность в оксигенации циклогексана, циклооктена и других углеводородов [27–35]. Однако результаты этих работ опубликованы разрозненно, что затрудняет сравнение катализаторов между собой.

Объект исследования – комплексы меди(II) и оксидованадия(IV) с лигандами класса BIAN; **предмет** – их каталитические свойства в окислении циклогексана пероксидом водорода и механизм этого процесса. **Цель работы** – систематизировать и сопоставить данные о каталитической активности комплексов **1–9**. Для ее достижения решались следующие **задачи**: 1) обобщить способы получения и характеристики комплексов; 2) сравнить выходы продуктов и числа оборотов в окислении циклогексана, в том числе с добавкой сокатализатора; 3) на основании параметров селективности установить природу окисляющей частицы; 4) оценить активность комплексов в окислении спиртов. Для решения задач использованы методы координационного синтеза, спектроскопии, рентгеноструктурного анализа, газовой хроматографии и квантово-химического моделирования.

Материалы и методы исследования. Синтез комплексов. Комплексы меди(II) получали взаимодействием CuCl_2 или CuBr_2 с соответствующим R-bian, взятых в мольном соотношении 1:1 [27]. Мононуклеарные комплексы ванадия **6–8** синтезировали из VCl_3 и R-bian (1:1); окисление ванадия до степени окисления +4 происходило в ходе реакции [29, 35]. Биядерный комплекс **9** выделен при взаимодействии $[\text{VO}(\text{CH}_3\text{CN})_2(\text{H}_2\text{O})\text{Cl}_2]$ с R-mian (R = 3,5- $(\text{CF}_3)_2\text{C}_6\text{H}_3$) [31]. Общая схема получения комплексов **1–9** приведена на схеме 1.

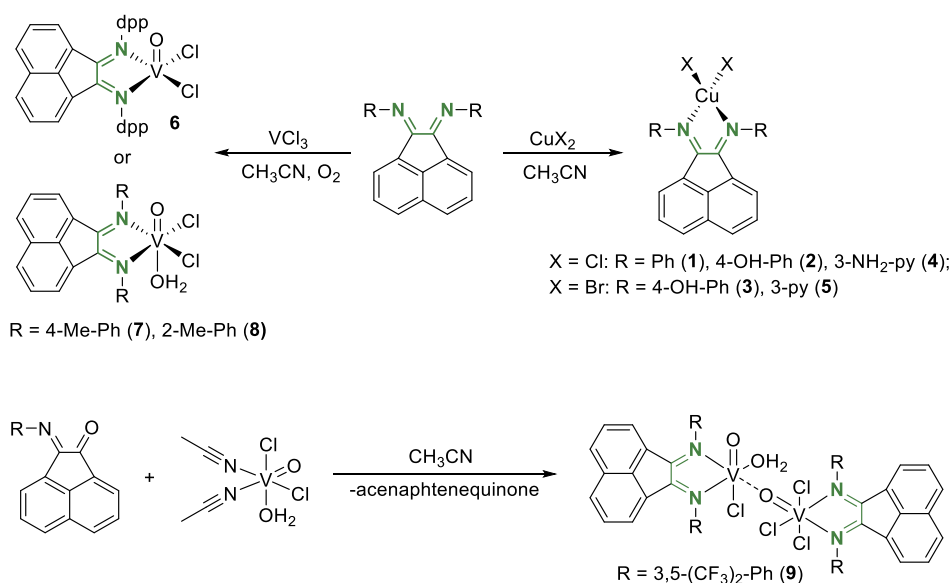


Схема 1 – Получение комплексов **1–9**

Характеризация. Состав и строение полученных соединений устанавливали методами элементного анализа, ИК-спектроскопии, спектроскопии ЭПР и электронной спектроскопии поглощения в УФ- и видимой области. Кристаллические структуры комплексов **6** и **9** определены методом рентгеноструктурного анализа монокристаллов [31, 35].

Каталитические испытания. Окисление циклогексана проводили в ацетонитриле при 50 °С и атмосферном давлении в термостатируемом стеклянном реакторе. Окислителем служил водный раствор пероксида водорода, для комплексов ванадия в ряде опытов в качестве сокатализатора вводили пиразин-2-карбоновую кислоту (РСА). Пробы реакционной смеси анализировали методом газовой хроматографии дважды: до и после восстановления избытком трифенилфосфина (PPh₃). Поскольку PPh₃ количественно превращает алкилгидропероксид в соответствующий спирт, сравнение двух хроматограмм позволяет определить содержание циклогексилгидропероксида в смеси. Выход рассчитывали как суммарное количество кислородсодержащих продуктов (моль) на 100 моль исходного циклогексана, число оборотов (TON) – как отношение количества продуктов к количеству катализатора (моль/моль).

Изучение селективности. Для выяснения природы окисляющей частицы в тех же условиях окисляли н-гептан и метилциклогексан. Региоселективность выражали отношением C(1):C(2):C(3):C(4) реакционной способности атомов углерода н-гептана, а связевую селективность – отношением 1°:2°:3° реакционной способности первичных, вторичных и третичных связей С–Н метилциклогексана; оба параметра нормировали на число атомов водорода соответствующего типа.

Окисление спиртов. Окисление 1-фенилэтанола, циклогексанола и гептан-2-ола проводили 70%-ным водным раствором *трет*-бутилгидропероксида (ТВНР); продукты анализировали методом газовой хроматографии [27, 29, 31].

Квантово-химические расчеты. Электронное строение возможных интермедиатов – комплексов V(IV) с координированным гидроксильным радикалом – анализировали методом теории функционала плотности [31].

Результаты и обсуждение. Синтез и строение комплексов. Реакция галогенидов меди(II) с R-bian в эквимольном соотношении приводит к моонуклеарным комплексам [Cu(R-bian)X₂] (X = Cl: R = Ph (**1**), 4-НО-C₆H₄ (**2**), 3-NH₂-пиридил (**3**); X = Br: R = 4-НО-C₆H₄ (**4**), 3-пиридил (**5**)), выход которых составляет 49–68 % [27]. Из VCl₃ и R-bian в тех же условиях образуются комплексы оксидованадия(IV): [VO(dpp-bian)Cl₂] (**6**, выход 50 %) [35] и аква-комплексы [VO(R-bian)(H₂O)Cl₂] с R = 4-Me-C₆H₄ (**7**, 57 %) и 2-Me-C₆H₄ (**8**, 49 %) [29]. При взаимодействии [VO(CH₃CN)₂(H₂O)Cl₂] с R-mian наблюдается диспропорционирование монооиминного лиганда на R-bian и свободный аценафтенхинон, в результате чего с выходом 41 % выделен биядерный комплекс [{VO(R-bian)(H₂O)Cl}{VO(R-bian)Cl₃}] (**9**) [31].

Окисление циклогексана. Все комплексы **1–9** катализируют окисление циклогексана пероксидом водорода при 50 °С и атмосферном давлении (схема 2). По данным газовой хроматографии, первичным продуктом реакции является циклогексилгидропероксид, который постепенно распадается на циклогексанол и циклогексанон, образующиеся в сопоставимых количествах. После обработки проб PPh₃ концентрация спирта резко возрастает, а кетона – снижается, что подтверждает накопление в смеси именно алкилгидропероксида.

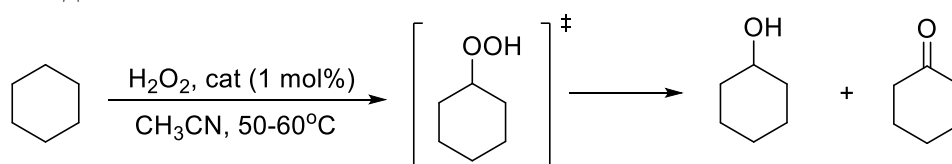


Схема 2 – Окисление циклогексана пероксидом водорода в присутствии комплексов 1–9

Влияние сокатализатора РСА на системы с разными металлами оказалось противоположным. Для комплексов меди(II) **1–5** добавка РСА не повышала эффективность реакции, тогда как комплексы ванадия **6–9** проявляли заметную активность только в ее

присутствии. Это согласуется с известной ролью PCA как лиганда, облегчающего перенос протона и образование пероксокомплексов ванадия [14]. Сводные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Окисление циклогексана пероксидом водорода в присутствии комплексов 1–9 (50 °С)

Каталитическая система	Суммарный выход продуктов, %	TON	Ссылка
1 /H ₂ O ₂	18	166	[27]
2 /H ₂ O ₂	31	282	[27]
3 /H ₂ O ₂	31	282	[27]
4 /H ₂ O ₂	7	62	[27]
5 /H ₂ O ₂	32	290	[27]
6 /PCA/H ₂ O ₂	37	350	[35]
7 /PCA/H ₂ O ₂	38	350	[29]
8 /PCA/H ₂ O ₂	42	380	[29]
9 /PCA/H ₂ O ₂	27	250	[31]

Как видно из таблицы 1, комплексы **2**, **3** и **5–8** обеспечивают суммарный выход продуктов 31–42 % (TON 282–380), что для окисления инертного насыщенного углеводорода в столь мягких условиях является высоким результатом. Биядерный комплекс **9** несколько уступает им (27 %), а наименее активными в ряду оказались комплексы **1** (18 %) и **4** (7 %). Лучший результат получен для системы [VO(2-Me-C₆H₄-bian)(H₂O)Cl₂] (**8**)/PCA/H₂O₂: выход 42 %. Важно, что медные комплексы **2**, **3** и **5** достигают сопоставимой эффективности без какого-либо сокатализатора, что упрощает состав каталитической системы.

Механизм реакции. Для идентификации окисляющей частицы определены параметры селективности окисления н-гептана и метилциклогексана в присутствии комплексов **5–8** (схема 3, таблица 2).

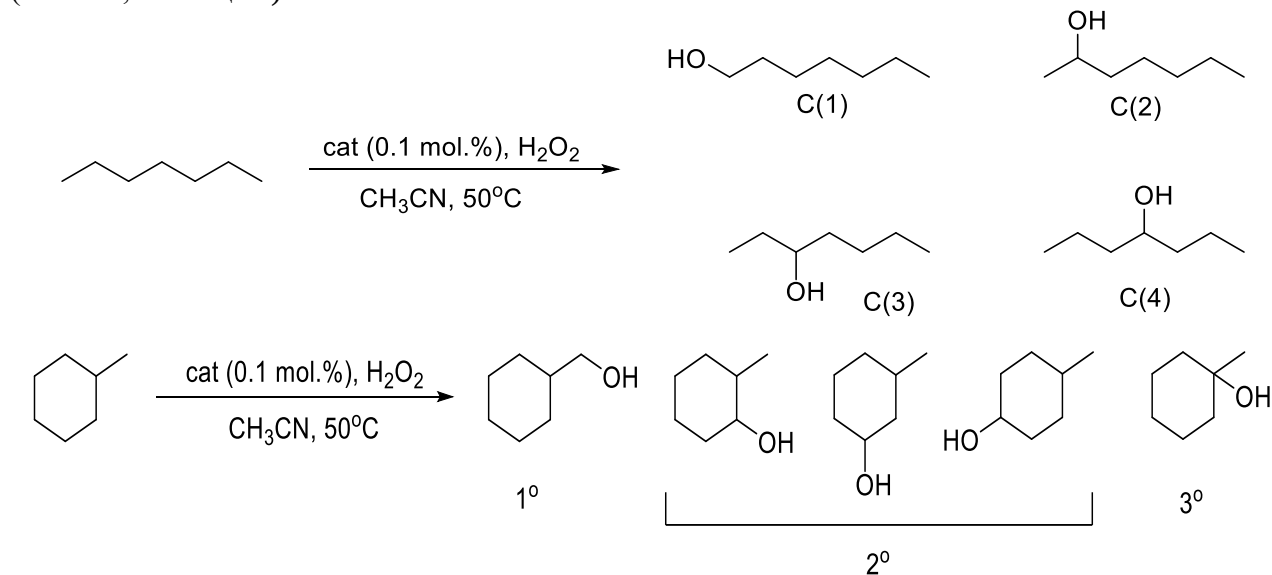


Схема 3 – Окисление н-гептана и метилциклогексана в присутствии комплексов 5–8

Полученные значения близки к характерным для систем, в которых окислителем выступает свободный гидроксильный радикал: вторичные атомы углерода н-гептана окисляются примерно одинаково, а предпочтение третичных связей С–Н метилциклогексана перед вторичными выражено слабо. Отсутствие выраженной селективности указывает на радикальный механизм с участием •ОН [29].

Таблица 2 – Параметры селективности окисления н-гептана и метилциклогексана

Каталитическая система	Региоселективность C(1):C(2):C(3):C(4)	Связевая селективность 1°:2°:3°	Ссылка
5/H ₂ O ₂	1,0:5,2:5,2:4,6	1,0:4,9:12,9	[27]
6/H ₂ O ₂	1,0:5,6:5,8:5,5	1,0:5,1:10,8	[35]
6/PCA/H ₂ O ₂	1,0:6,25:6,75:6,25	1,0:5,0:12,6	[35]
7/PCA/H ₂ O ₂	1,0:5,6:5,7:5,4	1,0:5,5:17,7	[29]
8/PCA/H ₂ O ₂	1,0:5,0:5,2:4,7	1,0:6,6:18,5	[29]

Общепринятой схемой окисления алканов пероксидами в таких системах является механизм фентоновского типа. В классической реакции Фентона ионы железа(II) восстанавливают H₂O₂ с образованием гидроксильного радикала; аналогичные превращения с участием ионов ванадия и меди лежат в основе фентоноподобных систем. Металлоцентр циклически меняет степень окисления, порождая гидроксильные и гидропероксильные радикалы, которые и инициируют цепное окисление углеводорода (схема 4).

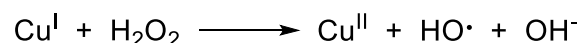
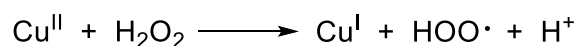
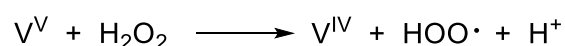
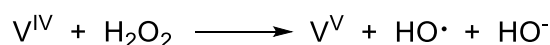
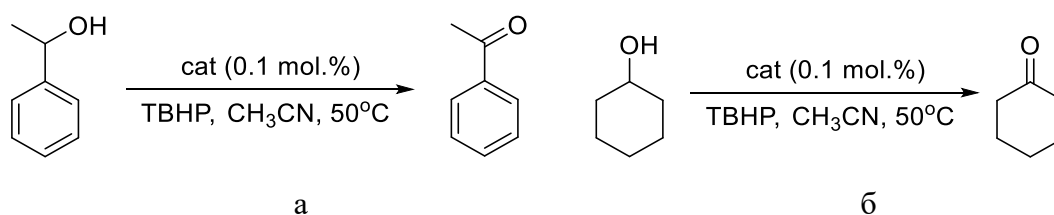
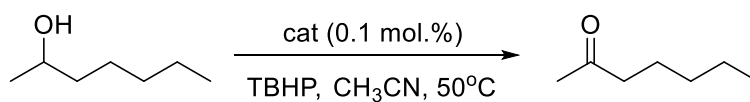


Схема 4 – Образование гидроксильных и гидропероксильных радикалов при взаимодействии соединений ванадия(IV) и меди(II) с пероксидом водорода

Наличие в составе комплексов **1–9** редокс-активных лигандов, способных образовывать устойчивые радикальные формы, позволяет предположить и иной путь генерации $\cdot OH$ – с участием самого R-bian. Квантово-химическое моделирование комплексов V(IV) с координированным гидроксильным радикалом, рассматриваемых как возможные интермедиаты, показало, что для частицы [VO(3,5-(CF₃)₂C₆H₃-bian)Cl₂(OH)] (фрагмент комплекса **9**) граничные молекулярные орбитали, определяющие ее реакционную способность, локализованы преимущественно на лиганде [31]. Таким образом, при наличии в BIAN электроноакцепторных заместителей лиганд может непосредственно участвовать в редокс-процессах каталитического цикла.

Окисление спиртов. Комплексы **2, 3, 5** и **7–9** проявили активность и в окислении вторичных спиртов – 1-фенилэтанола (а), циклогексанола (б) и гептан-2-ола (в) – *трет*-бутилгидропероксидом (схема 5, таблица 3).





с

Схема 5 – Окисление 1-фенилэтанола (а), циклогексанола (б) и гептан-2-ола (в) трет-бутилгидропероксидом

Наиболее эффективными оказались системы 2/TBHP, 5/TBHP и 9/TBHP в окислении 1-фенилэтанола: выход ацетофенона составил 94, 90 и 80 % соответственно (TON 940, 900 и 800). Алифатические спирты окисляются значительно труднее – выход кетонов из циклогексанола и гептан-2-ола не превышает 46 %. В целом комплексы меди(II) в этой реакции активнее комплексов ванадия(IV), а для всех изученных катализаторов 1-фенилэтанол является наиболее легко окисляемым субстратом, что объясняется активирующим влиянием фенильной группы на бензильную связь С–Н.

Таблица 3 – Окисление спиртов трет-бутилгидропероксидом в присутствии комплексов 2, 3, 5, 7–9

Каталитическая система	Субстрат	Выход кетона, %	TON	Ссылка
2/TBHP	а	94	940	[27]
	в	36	360	
3/TBHP	а	45	450	[27]
	в	26	260	
5/TBHP	а	90	900	[27]
	в	45	450	
7/TBHP	а	28	280	[29]
	б	15	150	
	в	36	360	
8/TBHP	а	56	560	[29]
	б	20	200	
	в	46	460	
9/TBHP	а	80	800	[31]

Примечание – а – 1-фенилэтанол; б – циклогексанол; в – гептан-2-ол.

Закключение. Обобщение результатов показало, что комплексы меди(II) и оксидованадия(IV) с бис(арилимино)аценафтенами являются катализаторами окисления циклогексана пероксидом водорода с активностью от умеренной до высокой при температуре не выше 50 °С и атмосферном давлении. Наибольший выход продуктов (42 %) достигнут для системы 8/РСА/H₂O₂; комплексы меди 2, 3, 5 обеспечивают выход 31–32 % без сокатализатора, тогда как для комплексов ванадия добавка РСА необходима.

Установлено, что первичным продуктом реакции является циклогексилгидропероксид, количественно восстанавливаемый трифенилфосфином до циклогексанола. Параметры региоселективности и связевой селективности свидетельствуют о радикальном механизме с участием гидроксильных радикалов, генерируемых по фентоноподобной схеме за счет редокс-превращений металлоцентра; вместе с тем данные квантово-химических расчетов не исключают участия редокс-активного лиганда в образовании [•]ОН. Комплексы катализируют также окисление вторичных спиртов трет-бутилгидропероксидом, наиболее эффективно – 1-фенилэтанола (выход ацетофенона до 94 %).

Финансирование. Авторы выражают благодарность Министерству науки и высшего образования Российской Федерации, а также Центру коллективного пользования ИНХ СО РАН.

Литературы:

- [1] **Shilov, A.E.**, Shul'pin G.B. Activation of C–H bonds by metal complexes // *Chemical Reviews*, 1997. – Vol. 97, № 8. – P. 2879-2932. <https://doi.org/10.1021/cr9411886>.
- [2] **Milan, M.**, Salamone M., Costas M., Biotti M. The quest for selectivity in hydrogen atom transfer based aliphatic C–H bond oxygenation // *Accounts of Chemical Research*, 2018. – Vol. 51, № 9. – P. 1984-1995. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.8b00231>.
- [3] **Somekh, M.**, Khenkin A.M., Herman A., Neumann R. Selective visible light aerobic photocatalytic oxygenation of alkanes to the corresponding carbonyl compounds // *ACS Catalysis*, 2019. – Vol. 9. – P. 8819-8824. <https://doi.org/10.1021/acscatal.9b02999>.
- [4] **Kirillova, M.V.**, Kuznetsov M.L., Kozlov Y.N., Shul'pina L.S., Kitaygorodskiy A., Pombeiro A.J.L., Shul'pin G.B. Participation of oligovanadates in alkane oxidation with H₂O₂ catalyzed by vanadate anion in acidified acetonitrile: kinetic and DFT studies // *ACS Catalysis*, 2011. – Vol. 1. – P. 1511-1520. <https://doi.org/10.1021/cs200237m>.
- [5] **Punniyamurthy, T.**, Velusamy S., Iqbal J. Recent advances in transition metal catalyzed oxidation of organic substrates with molecular oxygen // *Chemical Reviews*, 2005. – Vol. 105, № 6. – P. 2329-2363. <https://doi.org/10.1021/cr050523v>.
- [6] **Shul'pin, G.B.**, Shul'pina L.S. Oxidation of organic compounds with peroxides catalyzed by polynuclear metal compounds // *Catalysts*, 2021. – Vol. 11, № 2. – Art. 186. <https://doi.org/10.3390/catal11020186>.
- [7] **Langeslay, R.R.**, Kaphan D.M., Marshall C.L., Stair P.C., Sattelberger A.P., Delferro M. Catalytic applications of vanadium: a mechanistic perspective // *Chemical Reviews*, 2019. – Vol. 119, № 4. – P. 2128-2191. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00245>.
- [8] **Garcia-Bosch, I.**, Siegler M.A. Copper-catalyzed oxidation of alkanes with H₂O₂ under a Fenton-like regime // *Angewandte Chemie International Edition*, 2016. – Vol. 55. – P. 12873-12876. <https://doi.org/10.1002/anie.201607216>.
- [9] **Kirillov, A.M.**, Kirillova M.V., Pombeiro A.J.L. Multicopper complexes and coordination polymers for mild oxidative functionalization of alkanes // *Coordination Chemistry Reviews*, 2012. – Vol. 256. – P. 2741-2759. – <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2012.07.022>.
- [10] **Punniyamurthy, T.**, Rout L. Recent advances in copper-catalyzed oxidation of organic compounds // *Coordination Chemistry Reviews*, 2008. – Vol. 252. – P. 134-154. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2007.04.003>.
- [11] **Kirillova, M.V.**, de Paiva P.T., Carvalho W.A., Mandelli D., Kirillov A.M. Mixed-ligand aminoalcohol-dicarboxylate copper(II) coordination polymers as catalysts for the oxidative functionalization of cyclic alkanes and alkenes // *Pure and Applied Chemistry*, 2017. – Vol. 89, № 1. – P. 61-73. <https://doi.org/10.1515/pac-2016-1012>.
- [12] **Koshcheeva, O.S.**, Kuznetsova N.I., Babushkin D.E., Fomenko I.S., Gushchin A.L. Novel organocatalytic system of R-bian, R-mian and NHPI for selective oxidation of cumene // *Molecular Catalysis*, 2025. – Vol. 570. – Art. 114658. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2024.114658>.
- [13] **Nesterova, O.V.**, Nesterov D.S., Krogul-Sobczak A., Guedes da Silva M.F.C., Pombeiro A.J.L. Synthesis, crystal structures and catalytic activity of Cu(II) and Mn(III) Schiff base complexes: influence of additives on the oxidation catalysis of cyclohexane and 1-phenylethanol // *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 2017. – Vol. 426. – P. 506-515. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2016.09.005>.
- [14] **Kirillov, A.M.**, Shul'pin G.B. Pyrazinecarboxylic acid and analogs: highly efficient co-catalysts in the metal-complex-catalyzed oxidation of organic compounds // *Coordination Chemistry Reviews*, 2013. – Vol. 257. – P. 732-754. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2012.09.012>.
- [15] **da Silva, J.A.L.**, Fraústo da Silva J.J.R., Pombeiro A.J.L. Amavadin, a vanadium natural complex: its role and applications // *Coordination Chemistry Reviews*, 2013. – Vol. 257. – P. 2388-2400. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2013.03.010>.

- [16] **Nesterov, D.S.**, Nesterova O.V., Pombeiro A.J.L. Homo- and heterometallic polynuclear transition metal catalysts for alkane C–H bonds oxidative functionalization: recent advances // *Coordination Chemistry Reviews*, 2018. – Vol. 355. – P. 199-222. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2017.08.009>.
- [17] **Perraud, O.**, Sorokin A.B., Dutasta J.-P., Martinez A. Oxidation of cycloalkanes by H₂O₂ using a copper–hemicryptophane complex as a catalyst // *Chemical Communications*, 2013. – Vol. 49. – P. 1288-1290. <https://doi.org/10.1039/c2cc37829a>.
- [18] **Czerwińska, K.**, Machura B., Kula S., Krompiec S., Erfurt K., Roma-Rodrigues C., Fernandes A.R., Shul'pina L.S., Ikonnikov N.S., Shul'pin G.B. Copper(II) complexes of functionalized 2,2':6',2''-terpyridines and 2,6-di(thiazol-2-yl)pyridine: structure, spectroscopy, cytotoxicity and catalytic activity // *Dalton Transactions*, 2017. – Vol. 46. – P. 9591-9604. <https://doi.org/10.1039/C7DT01244F>.
- [19] **Choroba, K.**, Machura B., Kula S., Raposo L.R., Fernandes A.R., Kruszynski R., Erfurt K., Shul'pina L.S., Kozlov Y.N., Shul'pin G.B. Copper(II) complexes with 2,2':6',2''-terpyridine, 2,6-di(thiazol-2-yl)pyridine and 2,6-di(pyrazin-2-yl)pyridine substituted with quinolines. Synthesis, structure, antiproliferative activity, and catalytic activity in the oxidation of alkanes and alcohols with peroxides // *Dalton Transactions*, 2019. – Vol. 48. – P. 12656-12673. – DOI: <https://doi.org/10.1039/C9DT01922G>.
- [20] **Kirillov, A.M.**, Kirillova M.V., Shul'pina L.S., Figiel P.J., Gruenwald K.R., Guedes da Silva M.F.C., Haukka M., Pombeiro A.J.L., Shul'pin G.B. Mild oxidative functionalization of alkanes and alcohols catalyzed by new mono- and dicopper(II) aminopolyalcoholates // *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 2011. – Vol. 350. – P. 26-34. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2011.08.028>.
- [21] **Dronova, M.S.**, Bilyachenko A.N., Yalymov A.I., Kozlov Y.N., Shul'pina L.S., Korlyukov A.A., Arkhipov D.E., Levitsky M.M., Shubina E.S., Shul'pin G.B. Solvent-controlled synthesis of tetranuclear cage-like copper(II) silsesquioxanes. Remarkable features of the cage structures and their high catalytic activity in oxidation with peroxides // *Dalton Transactions*, 2014. – Vol. 43. – P. 872-882. <https://doi.org/10.1039/C3DT52508B>.
- [22] **Bilyachenko, A.N.**, Kulakova A.N., Levitsky M.M., Petrov A.A., Korlyukov A.A., Shul'pina L.S., Khrustalev V.N., Dorovatovskii P.V., Vologzhanina A.V., Tsareva U.S., Golub I.E., Gulyaeva E.S., Shubina E.S., Shul'pin G.B. Unusual tri-, hexa-, and nonanuclear Cu(II) cage methylsilsesquioxanes: synthesis, structures, and catalytic activity in oxidations with peroxides // *Inorganic Chemistry*, 2017. – Vol. 56, № 7. – P. 4093-4103. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.7b00061>.
- [23] **Fomenko, I.S.**, Romashev N.F., Gushchin A.L. Advances in the chemistry of redox-active bis(imino)acenaphthenes (BIAN): a case of transition metal complexes // *Coordination Chemistry Reviews*, 2024. – Vol. 514. – Art. 215845. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2024.215845>.
- [24] **Bernauer, J.**, Pölker J., Jacobi von Wangelin A. Redox-active BIAN-based diimine ligands in metal-catalyzed small molecule syntheses // *ChemCatChem*, 2022. – Vol. 14. – Art. e202101182. <https://doi.org/10.1002/cctc.202101182>.
- [25] **Chacon-Teran, M.A.**, Findlater M. Redox-active BIAN-based iron complexes in catalysis // *European Journal of Inorganic Chemistry*. – 2022. – Vol. 2022. – Art. e202200363. <https://doi.org/10.1002/ejic.202200363>.
- [26] **Wang, J.**, Soo H.S., Garcia F. Synthesis, properties, and catalysis of p-block complexes supported by bis(arylimino)acenaphthene ligands // *Communications Chemistry*, 2020. – Vol. 3. – Art. 113. <https://doi.org/10.1038/s42004-020-00359-0>.
- [27] **Fomenko, I.S.**, Gongola M.I., Shul'pina L.S., Shul'pin G.B., Ikonnikov N.S., Kozlov Y.N., Gushchin A.L. Copper(II) complexes with BIAN-type ligands: synthesis and catalytic activity in oxidation of hydrocarbons and alcohols // *Inorganica Chimica Acta*, 2024. – Vol. 565. – Art. 121990. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2024.121990>.
- [28] **Fomenko, I.S.**, Koshcheeva O.S., Kuznetsova N.I., Larina T.V., Gongola M.I., Afewerki M., Abramov P.A., Novikov A.S., Gushchin A.L. Novel copper(II) complexes with BIAN ligands: synthesis, structure and catalytic properties of the oxidation of isopropylbenzene // *Catalysts*, 2023. – Vol. 13, № 5. – Art. 849. <https://doi.org/10.3390/catal13050849>.

[29] **Fomenko, I.S.**, Gongola M.I., Shul'pina L.S., Ikonnikov N.S., Komarovskikh A.Y., Nadolinny V.A., Kozlov Y.N., Gushchin A.L., Shul'pin G.B. Mononuclear oxidovanadium(IV) complexes with BIAN ligands: synthesis and catalytic activity in the oxidation of hydrocarbons and alcohols with peroxides // Catalysts, 2022. – Vol. 12, № 10. – Art. 1168. <https://doi.org/10.3390/catal12101168>.

[30] **Fomenko, I.S.**, Afewerki M., Gongola M.I., Vasilyev E.S., Shul'pina L.S., Ikonnikov N.S., Shul'pin G.B., Samsonenko D.G., Yanshole V.V., Nadolinny V.A., Lavrov A.N., Tkachev A.V., Gushchin A.L. Novel copper(II) complexes with dipinodiazfluorene ligands: synthesis, structure, magnetic and catalytic properties // Molecules, 2022. – Vol. 27, № 13. – Art. 4072. <https://doi.org/10.3390/molecules27134072>.

[31] **Lukoyanov, A.N.**, Fomenko I.S., Gongola M.I., Shul'pina L.S., Ikonnikov N.S., Shul'pin G.B., Ketkov S.Y., Fukin G.K., Rumyantsev R.V., Novikov A.S., Nadolinny V.A., Sokolov M.N., Gushchin A.L. Novel oxidovanadium complexes with redox-active R-mian and R-bian ligands: synthesis, structure, redox and catalytic properties // Molecules, 2021. – Vol. 26, № 18. – Art. 5706. <https://doi.org/10.3390/molecules26185706>.

[32] **Fomenko, I.S.**, Vincendeau S., Manoury E., Poli R., Abramov P.A., Nadolinny V.A., Sokolov M.N., Gushchin A.L. An oxidovanadium(IV) complex with 4,4'-di-tert-butyl-2,2'-bipyridine ligand: synthesis, structure and catalyzed cyclooctene epoxidation // Polyhedron, 2020. – Vol. 177. – Art. 114305. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2019.114305>.

[33] **Fomenko, I.S.**, Gushchin A.L. Mono- and binuclear complexes of group 5 metals with diimine ligands: synthesis, reactivity and prospects for application // Russian Chemical Reviews, 2020. – Vol. 89, № 9. – P. 966-998. <https://doi.org/10.1070/RCR4949>.

[34] **Fomenko, I.**, Gushchin A., Abramov P., Sokolov M., Shul'pina L., Ikonnikov N., Kuznetsov M., Pombeiro A., Kozlov Y., Shul'pin G. New oxidovanadium(IV) complexes with 2,2'-bipyridine and 1,10-phenanthroline ligands: synthesis, structure and high catalytic activity in oxidations of alkanes and alcohols with peroxides // Catalysts, 2019. – Vol. 9, № 3. – Art. 217. <https://doi.org/10.3390/catal9030217>.

[35] **Fomenko, I.S.**, Gushchin A.L., Shul'pina L.S., Ikonnikov N.S., Abramov P.A., Romashev N.F., Poryvaev A.S., Sheveleva A.M., Bogomyakov A.S., Shmelev N.Y., Fedin M.V., Shul'pin G.B., Sokolov M.N. New oxidovanadium(IV) complex with a BIAN ligand: synthesis, structure, redox properties and catalytic activity // New Journal of Chemistry, 2018. – Vol. 42. – P. 16200-16210. <https://doi.org/10.1039/C8NJ03358G>.

[36] **Abutaleb, A.**, Ali M.A. A comprehensive and updated review of studies on the oxidation of cyclohexane to produce ketone-alcohol (KA) oil // Reviews in Chemical Engineering, 2022. – Vol. 38, № 7. – P. 769-797. <https://doi.org/10.1515/revce-2020-0059>.

МЫС(II) ЖӘНЕ ВАНАДИЙ (IV) КЕШЕНДЕРІНІҢ РЕДОКС-БЕЛСЕНДІ BIAN-ЛИГАНДТАРМЕН ЦИКЛОГЕКСАНДЫ СУТЕК ПЕРОКСИДІМЕН ГОМОГЕНДІ КАТАЛИТИКАЛЫҚ ТОТЫҚТЫРУДАҒЫ РӨЛІ

Фоменко Я.С., химия ғылымдарының кандидаты
Гущин А.Л., химия ғылымдарының докторы

Ресей ғылым академиясы Сібір бөлімшесінің А.В. Николаев атындағы Бейорганикалық химия институты, Новосибирск, Ресей

Аңдатпа. Циклогександы циклогексанол мен циклогексанон қоспасына (КА-май) дейін тотықтыру нейлон-6 және нейлон-6,6 синтезіне арналған шикізатты алудың негізгі сатысы болып табылады. Қолданыстағы өнеркәсіптік технология жоғары температура мен қысымды талап етеді және көмірсутектің айналу дәрежесі төмен, сондықтан жұмсақ жағдайларда әрекет ететін каталитикалық жүйелерді іздеу өзекті міндет болып қала береді. Жұмыстың мақсаты – редокс-белсенді бис(арилимино)аценафтендермен (BIAN) түзілген мыс(II) (1–5) және оксидованадий(IV) (6–9) кешендерінің циклогександы сутек пероксидімен тотықтырудағы каталитикалық белсенділігі туралы деректерді жинақтау және салыстыру. Кешендер мыс(II) галогенидтерінің немесе ванадий

қосылыстарының R-bian-мен әрекеттесуі арқылы алынып, элементтік талдау, ИҚ-, ЭПР- және электрондық спектроскопия, сондай-ақ рентгенқұрылымдық талдау әдістерімен сипатталды. Каталитикалық сынақтар ацетонитрилде 50 °С температурада және атмосфералық қысымда жүргізілді; өнімдер реакциялық қоспаны трифенилфосфинмен тотықсыздандыруға дейін және кейін газды хроматография әдісімен анықталды. Құрамында оттегі бар өнімдердің жалпы шығымы 31–42 %-ға (TON 380-ге дейін) жетті, ең жоғары белсенділікті $[\text{VO}(\text{2-Me-Ph-bian})(\text{H}_2\text{O})\text{Cl}_2]/\text{PCA}/\text{H}_2\text{O}_2$ жүйесі көрсетті. Негізгі бастапқы өнім – циклогексилгидропероксид. Региоселективтілік пен байланыс селективтілігінің параметрлері гидроксил радикалдарының қатысуымен жүретін радикалдық механизмді дәлелдейді. Кешендер сондай-ақ екіншілік спирттерді *трет*-бутилгидропероксидпен тотықтыруды катализдейді, кетонның шығымы 94 %-ға дейін жетеді.

Тірек сөздер: циклогексан, гомогенді катализ, мыс(II) кешендері, ванадий(IV) кешендері, BIAN-лигандтар.

COPPER(II) AND VANADIUM(IV) COMPLEXES WITH REDOX-ACTIVE BIAN LIGANDS IN THE HOMOGENEOUS CATALYTIC OXIDATION OF CYCLOHEXANE WITH HYDROGEN PEROXIDE

Ya.S. Fomenko, Candidate of Chemical Sciences

A.L. Gushchin, Doctor of Chemical Sciences

Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Abstract. The oxidation of cyclohexane to a mixture of cyclohexanol and cyclohexanone (KA oil) is the key step in producing feedstock for nylon-6 and nylon-6,6. The current industrial process requires high temperature and pressure and operates at low hydrocarbon conversion, so the search for catalytic systems active under mild conditions remains relevant. This work aims to summarize and compare data on the catalytic activity of copper(II) (1–5) and oxidovanadium(IV) (6–9) complexes bearing redox-active bis(arylimino)acenaphthene (BIAN) ligands in the oxidation of cyclohexane with hydrogen peroxide. The complexes were obtained by reacting copper(II) halides or vanadium compounds with R-bian and were characterized by elemental analysis, IR, EPR and electronic spectroscopy, and single-crystal X-ray diffraction. Catalytic tests were carried out in acetonitrile at 50 °C and atmospheric pressure; the products were quantified by gas chromatography before and after reduction of the reaction mixture with triphenylphosphine. The total yield of oxygenates reached 31–42 % (TON up to 380), with the $[\text{VO}(\text{2-Me-Ph-bian})(\text{H}_2\text{O})\text{Cl}_2]/\text{PCA}/\text{H}_2\text{O}_2$ system being the most active. Cyclohexyl hydroperoxide is the main primary product. The regio- and bond selectivity parameters point to a radical mechanism involving hydroxyl radicals. The complexes also catalyze the oxidation of secondary alcohols with *tert*-butyl hydroperoxide, giving ketone yields of up to 94 %.

Keywords: cyclohexane, homogeneous catalysis, copper(II) complexes, vanadium(IV) complexes, BIAN ligands.

SYNTHESIS OF A NEW BISPIDINONE DERIVATIVE AND EVALUATION OF ITS ANTITUBERCULAR ACTIVITY

Nurlybek N.A., student

nurgul_nurlybek007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4310-0661>

Togyzbayeva N.A.*, Candidate of Chemical Sciences

nurila2009@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4310-0661>

Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

Abstract. The limited number of new antituberculosis drugs that have appeared on the pharmaceutical market in recent decades, as well as the ability of *Mycobacterium tuberculosis* to alter its susceptibility depending on the conditions within the human body, underscore the need to search for and develop new, effective drugs. The results presented here expand current understanding of the synthesis and antibacterial properties of bispidinone derivatives—a promising class of chemical compounds. The compound obtained exhibits pronounced bactericidal activity and can be used as a basis for the creation of a new, safe, domestically produced antituberculosis drug. The aim of the study was to synthesize a new bispidinone derivative and to investigate its physicochemical and biological properties.

The synthesized compound was characterized using appropriate physicochemical methods to confirm its structure and evaluate its principal properties. Its biological activity was assessed under experimental conditions, demonstrating a significant inhibitory effect against the tested tuberculosis-associated microorganisms. The obtained results indicate that the bispidinone scaffold may serve as a promising structural platform for the development of novel antituberculosis agents. Further investigations focused on the mechanism of antibacterial action, toxicity, pharmacological properties, and optimization of the compound structure are required to assess its potential for practical pharmaceutical application.

Keywords: bispidinone derivatives, O-benzoyloxim, β -cyclodextrin, complex formation, bactericidal activity, *Mycobacterium tuberculosis*, acute toxicity.

Introduction. Tuberculosis is one of the most dangerous infectious diseases, causing severe suffering and high mortality rates among the population. Although COVID-19 had surpassed tuberculosis in terms of mortality rates for nearly three years, 7.5 million people were diagnosed with tuberculosis in 2022. This marked a record high for the entire period of global tuberculosis monitoring conducted by the World Health Organization since 1995. In 2023, 1.25 million people died from tuberculosis, including 161,000 people living with HIV. The annual increase in the number of tuberculosis cases is linked to the spread of HIV and the growing resistance of the disease's pathogens to antimicrobial drugs [1, 2].

One of the public health goals set forth in the United Nations Sustainable Development Goals is to end the global tuberculosis epidemic by 2030. Drug resistance in *Mycobacterium tuberculosis* (MTB), along with side effects of antituberculosis drugs such as hepatotoxicity, immuno-allergic complications, flu-like syndrome, hemolysis, and acute renal and hepatic failure, further underscores the urgency of the search for new anti-tuberculosis drugs [3].

The 3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonane skeleton is a bicyclic diamine widely used in medicine, supramolecular chemistry, and catalysis. The broad spectrum of biological activity exhibited by compounds of this class has attracted considerable interest from researchers [4–7]. The introduction of an oxime moiety at position 9 of the 3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonane skeleton enhances the molecule's antimicrobial activity and enables the identification of promising lead compounds active against various bacteria and fungi [8]. In addition, some 3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonanes containing phenyl moieties exhibit higher activity and efficacy against *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, and *Escherichia coli* compared to streptomycin [9,13-15].

Based on new scientific data on bispidinones, and taking into account the need to expand the range of compounds in this class and to develop domestically produced, low-toxicity

antituberculosis drugs, new bispidinone derivatives were synthesized and their biological properties were investigated.

Experimental Section. The progress of the reactions was monitored using thin-layer chromatography (TLC). The IR spectra of the compounds were recorded on a Nicolet 5700 FT-IR spectrometer. NMR spectra were recorded on a Mercury-300 spectrometer at operating frequencies of 300 and 100 MHz. Tetramethylsilane ((CH₃)₄Si) was used as the internal standard. The synthesis of compounds exhibiting increased sensitivity to oxygen and/or moisture was carried out in an inert gas atmosphere using pre-dried solvents.

The synthesis of 3-(3-isopropoxypropyl)-7-(3-morpholinopropyl)-3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonan-9-one and its derivatives was carried out according to the methods described in our previous works [4–6].

3-(3-Isopropoxypropyl)-7-(3-morpholinopropyl)-3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonan-9-one (2). From 7 mL (0.0403 mol) of 1-(3-morpholinopropyl)amine, 10 g (0.3616 mol) of formaldehyde, and 7 g (0.0403 mol) 1-(3-isopropoxypropyl)piperidin-4-one (1), 7.01 g of 3-(3-isopropoxypropyl)-7-(3-morpholinopropyl)-3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonan-9-one (2) were synthesized. The yield was 46.8% of the theoretical.

Boiling range: 225–230 °C (1–2 mm Hg); R_f 0.37 (Al₂O₃; benzene–isopropanol, 6:1); n_D²⁰ 1.4983.

Calculated, %: C 60.45; H 9.31; N 10.57.

Found, %: C 60.44; H 9.30; N 10.55.

Molecular formula: C₂₀H₃₇N₃O₃.

IR spectrum, ν, cm⁻¹: 1736 (C=O), 1112 (C–O–C).

¹H NMR spectrum (400 MHz, CDCl₃), δ, m. d. (J, Hz): 2.58 (2H, m, H_c-1.5, CH) ; 2.91 (2H, sp, J = 6.0, H_a-2.4, CH₂); 3.01 (2H, sp, J = 11.1; 6.0, H_c-2.4, CH₂); 2.79 (4H, sp, J = 6.0, H_a = 6.8, CH₂); 3.01 (4H, broad doublet, J = 11.1, H_c = 6.8, CH₂); 2.62 (2H, t, J = 6.0, H-10, CH₂); 1.69 (2H, quintet, J = 6.0, H-11, CH₂); 3.46 (2H, m, J = 6.0, H-12, CH₂); 3.55 (2H, t, J = 6.9, H-13, CH₂); 1.15 (2H, m, J = 6.0, H-14, CH₂); 2.55 (2H, m, H-15, CH₂); 1.64 (2H, m, H-16, CH₂); 2.55 (2H, m, H-17, CH₂); 3.69 (4H, t, J = 4.5, H-18,20, CH₂); 2.46 (4H, t, J = 4.5, H-19,21, CH₂).

¹³C NMR spectrum (100 MHz, CDCl₃), δ, m. d.: 46.6 (C-1.5); 58.1 (C-2.4); 58.1 (C-6.8); 214.5 (C-9); 53.1 (C-10); 27.4 (C-11); 65.6 (C-12);

The synthesis of 3-(3-isopropoxypropyl)-7-(3-morpholinopropyl)-3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonan-9-one and its derivatives was carried out according to the methods described in our previous works [4–6].

3-(3-Isopropoxypropyl)-7-(3-morpholinopropyl)-3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonan-9-one (2). From 7 mL (0.0403 mol) of 1-(3-morpholinopropyl)amine, 10 g (0.3616 mol) of formaldehyde, and 7 g (0.0403 mol) 1-(3-isopropoxypropyl)piperidin-4-one (1), 7.01 g of 3-(3-isopropoxypropyl)-7-(3-morpholinopropyl)-3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonan-9-one (2) were synthesized. The yield was 46.8% of the theoretical.

Boiling range: 225–230 °C (1–2 mm Hg); R_f 0.37 (Al₂O₃; benzene–isopropanol, 6:1); n_D²⁰ 1.4983.

Calculated, %: C 60.45; H 9.31; N 10.57.

Found, %: C 60.44; H 9.30; N 10.55.

3-(3-Isopropoxypropyl)-7-(3-morpholinopropyl)-3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonan-9-one oxime (3). To 2 g (0.0055 mol) of bispidinone (2), 40 mL of ethanol, 1.03 g (0.012 mol) of pyridine, and 0.98 g (0.0142 mol) of hydroxylamine hydrochloride were added. The reaction mixture was heated at 85–90 °C for 20 h. As a result, 1.9 g of the oxime 3-(3-isopropoxypropyl)-7-(3-morpholinopropyl)-3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonan-9-one (3) was obtained as a yellowish oil. The yield was 91.5% of the theoretical; R_f 0.53.

Calculated, %: C 62.82; H 9.94; N 14.65.

Found, %: C 62.89; H 10.19; N 14.78.

Molecular formula: C₂₀H₃₈N₄O₃.

IR spectrum, ν, cm⁻¹: 1675 (C=N).

^{13}C NMR spectrum (100 MHz, CDCl_3), δ , m. d.: 30.6 (C-1); 37.6 (C-5); 58.5 (C-2); 57.5 (C-4); 58.5 (C-6); 59.5 (C-8); 161.5 (C-9).

O-Benzoyloxim 3-(3-isopropoxypropyl)-7-(3-morpholinopropyl)-3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonan-9-one (4). To 1 g (0.0026 mol) of oxime (3), 0.30 mL (0.0026 mol) of benzoyl chloride was added in 10 mL of absolute benzene. The reaction mixture was heated for 5 h. As a result, 0.92 g of O-benzoyloxim (4) was isolated as a yellowish oil. The yield was 72.2% of the theoretical; R_f 0.89.

Calculated, %: C 66.66; H 8.64; N 11.52.

Found, %: C 66.13; H 8.87; N 11.60.

Molecular formula: $\text{C}_{27}\text{H}_{42}\text{N}_4\text{O}_4$.

IR spectrum, ν , cm^{-1} : 1743 (C=O), 1675 (C=N).

^{13}C NMR spectrum (100 MHz, CDCl_3), δ , m.d.: 34.1 (C-1); 37.2 (C-5); 58.2 (C-2); 58.3 (C-8); 56.0 (C-4); 55.9 (C-6); 164.52 (C-9); 171.3 (C=O); 133.0; 129.5; 128.3; 127.1 (Ar).

A complex of O-benzoyloxim 3-(3-isopropoxypropyl)-7-(3-morpholinopropyl)-3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonan-9-one with β -cyclodextrin (5). To a solution of 0.26 g (0.0005 mol) of O-benzoyloxim (4) in 13 mL of ethanol, a solution of 0.60 g (0.0002 mol) of β -cyclodextrin in 40 mL of water was added. The resulting solution was dried in a drying oven at 50–55 $^\circ\text{C}$. This yielded 0.86 g of the O-benzoyloxim complex with β -cyclodextrin (5).

Calculated, %: C 51.11; H 6.91.

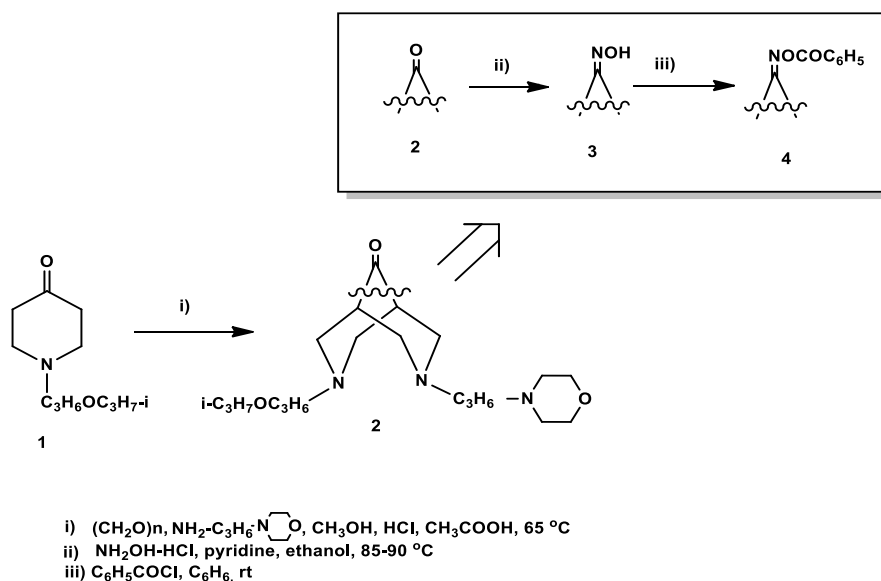
Found, %: C 51.20; H 6.98.

Molecular formula: $\text{C}_{69}\text{H}_{112}\text{N}_4\text{O}_{39}$.

Results and Discussion. Under Mannich condensation conditions, the cyclization of 1-(3-isopropoxypropyl)piperidin-4-one (1), 1-(3-morpholinopropyl)amine, and paraformaldehyde, a bicyclic ketone—3-(3-isopropoxypropyl)-7-(3-morpholinopropyl)-3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonan-9-one (2)—was synthesized.

The bicyclic ketone (2) was heated in an alcoholic medium for 20 h in the presence of hydroxylamine hydrochloride as an oxime-forming reagent. As a result, the corresponding oxime (3) was obtained in a high yield of 91.5%.

Subsequent acylation of the resulting oxime (3) with benzoyl chloride in absolute benzene for 5 h led to the formation of O-benzoyloxime (4) with a yield of 72.2%.



In the ^1H NMR spectrum of the bicyclic ketone (2), the signals from the axial protons H-2,4 and H-6,8 are observed in the δ 2.79–2.91 m region as doublets of doublets. The values of the spin-spin interaction constants ($^2J = 11.1$ Hz; $^3J = 6.0$ Hz) indicate the presence of strong hemical and

axial-equatorial interactions. The signals from the equatorial protons H-2,4 and H-6,8 appear at δ 3.01 m.d. in the form of doublets of doublets with constants $^2J = 11.1$ Hz and $^3J = 6.0$ Hz. The obtained values of the spin-spin interaction constants for the H-2,4,6,8 protons indicate that the piperidine rings are in the “chair” conformation.

In the ^{13}C NMR spectrum, a weak signal from the carbon atom of the C=O carbonyl group is observed at δ 214.5 m.d. as a singlet. The signal from the C-1,5 carbon atoms appears at δ 46.6 m.d. as a doublet, whereas the signals from the C-2,4 and C-6,8 atoms are recorded at δ 58.1 m.d. as a double-intensity triplet. The combined spectral data confirm the formation of the target bispidinone (2).

In the IR spectrum of the bicyclic oxime (3), the C=O carbonyl group absorption band characteristic of bispidinone disappears, and a C=N bond absorption band appears at 1675 cm^{-1} . These spectral changes confirm the formation of the oxime.

According to the ^{13}C NMR spectrum, the signal from the carbon atom of the C=O carbonyl group disappears, and a signal from the carbon atom of the C=N bond appears at δ 161.5 m. d. The replacement of the carbonyl group at position 9 with an oxime group disrupts the symmetry of the bispidinone molecule. As a result, the signals of the C-1 and C-5 carbon atoms become unequal and are observed at δ 30.6 and 37.6 m.d.

In the ^1H NMR spectrum of the oxime (3), the H-1 and H-5 proton signals are recorded separately at δ 2.66 and 3.66 m.d. Additionally, a broad signal from the NOH group proton appears at δ 9.78 m.d.

In the IR spectrum of the bicyclic O-benzoyloxim (4), absorption bands characteristic of the C=O carbonyl group and the C₆H₅– phenyl fragment are observed. In the ^{13}C NMR spectrum, the signal from the C-9 carbon atom shifts toward the low-field region and appears at δ 164.2 m.d. Simultaneously, a signal from the carbon atom of the C=O carbonyl group appears at δ 171.3 m.d. The signals from the carbon atoms of the phenyl fragment are observed at δ 133.0, 129.5, 128.3, and 127.1 m. The spectral data obtained confirm the formation of the target O-benzoyloxim (4).

O-benzoyloxim (4), obtained in the form of an oil, was complexed with β -cyclodextrin prior to pharmacological studies. Cyclodextrin’s ability to increase the stability of compounds against oxidation, moisture, and light provides valuable properties for drug formulations, which are necessary for their long-term storage, transportation, and targeted delivery to the site of pathology in the body [10].

The complex of O-benzoyloxim 3-(3-isopropoxypropyl)-7-(3-morpholinopropyl)-3,7-diazabicyclo[3.3.1] nonan-9-one complex with β -cyclodextrin, designated TK-1, was studied at the Institute of General Genetics and Cytology for biological activity. The bactericidal and bacteriostatic effects of the compound were evaluated in vitro against susceptible and drug-resistant strains of microorganisms isolated from tuberculosis patients, including staphylococci, Salmonella, Escherichia coli, and Mycobacterium tuberculosis H37Rv. In addition, its acute toxicity was studied. The results obtained were compared with those of rifampicin—an antibiotic used in clinical practice for the treatment of tuberculosis. The studies revealed that compound TK-1, at a concentration of $1\text{ }\mu\text{g/mL}$, exhibits antimicrobial activity against Gram-positive microorganisms (*S. aureus*, *S. haemolyticus*) and Gram-negative bacteria (*E. coli*, *S. typhimurium*). Compound TK-1 also exhibited activity against a susceptible strain of Mycobacterium tuberculosis H37Rv.

Note: In the original text, *S. haemolyticus* is classified as a Gram-negative microorganism; however, this species belongs to the Gram-positive staphylococci. Additionally, the designation “7-(2-morpholinopropyl)” has been corrected to “7-(3-morpholinopropyl)” to match the name of the compound in the preceding sections.

The acute toxicity study of compound TK-1 was conducted in accordance with the protocols [11, 12] using inbred white mice weighing 18–25 g via a single subcutaneous injection. The LD₅₀ value for TK-1 was $325 \pm 17.8\text{ mg/kg}$, whereas for rifampicin, which is used in medical practice, this value was 268.0 mg/kg . The higher LD₅₀ value indicates that the compound TK-1 has lower acute toxicity compared to rifampicin.

A study of rifampicin's effect on bacterial strains showed that the drug exhibited bactericidal activity in the concentration range of 1–100 µg/mL. At a concentration of 0.1 µg/mL, threshold growth of *Mycobacterium tuberculosis* was observed. Compound TK-1 exhibited bactericidal activity at concentrations of 5–100 µg/mL, whereas limited microbial growth was observed at concentrations of 1–2 µg/mL.

Thus, it was established that compound TK-1, in the concentration range of 2–5 µg/mL, exhibits bactericidal activity against a susceptible wild-type strain of *Mycobacterium tuberculosis*.

Conclusion. The biological activity of the complex of O-benzoyloxim 3-(3-isopropoxypropyl)-7-(3-morpholinopropyl)-3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonan-9-one with β-cyclodextrin, designated by the laboratory code TK-10, was investigated. The LD₅₀ value of the tested compound was 325 ± 17.8 mg/kg, indicating its lower acute toxicity compared to rifampicin, for which the LD₅₀ is 268.0 mg/kg. The O-benzoyloxim complex with β-cyclodextrin demonstrated antitubercular activity and can be recommended as a promising candidate compound for further in-depth biological and pharmacological studies.

Литературы:

- [1] **Dye, C.**, Maher D., Weil D., Espinal M., Raviglione M. Targets for global tuberculosis control // *Int. J. Tuberc. Lung Dis*, 2006. – Vol. 10. – P. 460-462.
- [2] Global tuberculosis report 2016 / World Health Organization. – Geneva: WHO, 2016. – WHO/HTM/TB/2016.13.
- [3] **D. Yee, C.** Valiquette, M. Pelletier, I. Parisien, I. Rocher, D. Menzies. Incidence of serious side effects from first-line antituberculosis drugs among patients treated for active tuberculosis // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 2003. – Vol. 167, No. 11. – P. 1472-1477. <https://doi.org/10.1164/rccm.200206-626OC>.
- [4] **Malmakova, A.E.**, Yu V.K., Iskakova T.K. Study of the physicochemical and biological properties of a new bispidine with a morpholine fragment // *Chem. J. Kaz.*, 2024. – No. 3 (87). – P. 5-13. <https://doi.org/10.51580/2024-3.2710-1185.28>.
- [5] **Neborak, E.V.**, Kaldybayeva A.B., L. Bey, A.Y. Malmakova, A.S. Tveritinova, A. Hilal, V.K. Yu, M.V. Ploskonos, M.V. Komarova, E. Agostinelli. Anticancer cytotoxic activity of bispidine derivatives associated with the increasing catabolism of polyamines // *Molecules*, 2022. – Vol. 27, No. 12. – Art. 3872. <https://doi.org/10.3390/molecules27123872>.
- [6] **Kaldybayeva, A.B.**, V.K. Yu, A.E. Malmakova, T. Li, A.Y. Ten, T.M. Seilkhanov, K.D. Praliyev, K.D. Berlin. Novel complexes of 3-[3-(1H-imidazol-1-yl)propyl]-3,7-diaza-bispidines and β-cyclodextrin as coatings to protect and stimulate sprouting wheat seeds // *Molecules*, 2022. – Vol. 27, No. 21. – Art. 7406. <https://doi.org/10.3390/molecules27217406>.
- [7] **M. Breuning**, M. Steiner, C. Mehler, A. Paasche, D. Hein. A flexible route to chiral 2-endo substituted 9-oxabispidines and their application in the enantioselective oxidation of secondary alcohols // *J. Org. Chem*, 2009. – Vol. 74, No. 3. – P. 1407-1410. <https://doi.org/10.1021/jo802409x>.
- [8] **P. Parthiban**, S. Kabilan, V. Ramkumar, Y.T. Jeong. Stereocontrolled facile synthesis and antimicrobial activity of oximes and oxime ethers of diversely substituted bispidines // *Bioorg. Med. Chem. Lett*, 2010. – Vol. 20, No. 22. – P. 6452-6458. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2010.09.079>.
- [9] **G.L. Balaji**, K. Rajesh, R. Janardhan, V. Vijayakumar Synthesis of novel 9-((arylidene)hydrazono)-2,4,6,8-tetrakis(4-methoxyphenyl)-3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonane azines as potential antibacterial agents // *Res. Chem. Intermed*, 2015. – Vol. 41, No. 9. – P. 6497-6509. <https://doi.org/10.1007/s11164-014-1756-9>.
- [10] **Bungaruang L.**, Gutmann A., Nidetzky B. β-Cyclodextrin improves solubility and enzymatic C-glucosylation of the flavonoid phloretin // *Adv. Synth. Catal*, 2016. – Vol. 358, No. 3. – P. 486-493. <https://doi.org/10.1002/adsc.201500838>.
- [11] под ред. А.Н. Миронова. – М.: Гриф и К. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Ч. 1 /, 2012. – С. 339-340.
- [12] Handbook: Good laboratory practice (GLP): quality practices for regulated non-clinical research and development. – 2nd ed. – Geneva: WHO, 2009. – 243 p. – URL: <https://iris.who.int/handle/10665/66894> (дата обращения: 06.10.2026).
- [13] **Пралиев, К.Д.**, Исакова Т.К., Жаксимаева Ж.М., Тогызбаева Н.А., Кемельбеков У.С., Ю В.К., Бактыбаева Л.К., Свамбаев Е.А. Предпатент 19832 РК. 3-(3-Изопропоксипропил)-7-(2-морфолиноэтил)-3,7-диазабицикло[3.3.1]нонана и промежуточные продукты его синтеза /; опубл.

15.08.2008, Бюл. № 8. – 14 с.

[14] **Жаксibaева, Ж.М.**, Абдильданова А.А., Тогызбаева Н.А., Малмакова А.Е., Серикбаева К.Т. Поиск фармакологически активных соединений в ряду производных биспидина // Идеи и наследие А.Е. Фаворского в органической и металлоорганической химии XXI века: материалы Всерос. молодёж. конф.-шк. – СПб., 2010. – С. 66.

[15] **Харкевич, Д.А.** Фармакология: учебник. – 13-е изд., перераб. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2025. – 752 с.: ил.

References:

[1] **Dye, C.**, Maher D., Weil D., Espinal M., Raviglione M. Targets for global tuberculosis control // *Int. J. Tuberc. Lung Dis*, 2006. – Vol. 10. – P. 460-462.

[2] Global tuberculosis report 2016 / World Health Organization. – Geneva: WHO, 2016. – WHO/HTM/TB/2016.13.

[3] **D. Yee**, C. Valiquette, M. Pelletier, I. Parisien, I. Rocher, D. Menzies. Incidence of serious side effects from first-line antituberculosis drugs among patients treated for active tuberculosis // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 2003. – Vol. 167, No. 11. – P. 1472-1477. <https://doi.org/10.1164/rccm.200206-626OC>.

[4] **Malmakova, A.E.**, Yu V.K., Iskakova T.K. Study of the physicochemical and biological properties of a new bispidine with a morpholine fragment // *Chem. J. Kaz.*, 2024. – No. 3 (87). – P. 5-13. <https://doi.org/10.51580/2024-3.2710-1185.28>.

[5] **Neborak, E.V.**, Kaldybayeva A.B., L. Bey, A.Y. Malmakova, A.S. Tveritina, A. Hilal, V.K. Yu, M.V. Ploskonos, M.V. Komarova, E. Agostinelli. Anticancer cytotoxic activity of bispidine derivatives associated with the increasing catabolism of polyamines // *Molecules*, 2022. – Vol. 27, No. 12. – Art. 3872. <https://doi.org/10.3390/molecules27123872>.

[6] **Kaldybayeva, A.B.**, V.K. Yu, A.E. Malmakova, T. Li, A.Y. Ten, T.M. Seilkhanov, K.D. Praliyev, K.D. Berlin. Novel complexes of 3-[3-(1H-imidazol-1-yl)propyl]-3,7-diaza-bispidines and β -cyclodextrin as coatings to protect and stimulate sprouting wheat seeds // *Molecules*, 2022. – Vol. 27, No. 21. – Art. 7406. <https://doi.org/10.3390/molecules27217406>.

[7] **M. Breuning**, M. Steiner, C. Mehler, A. Paasche, D. Hein. A flexible route to chiral 2-endo substituted 9-oxabispidines and their application in the enantioselective oxidation of secondary alcohols // *J. Org. Chem*, 2009. – Vol. 74, No. 3. – P. 1407-1410. – <https://doi.org/10.1021/jo802409x>.

[8] **P. Parthiban**, S. Kabilan, V. Ramkumar, Y.T. Jeong. Stereocontrolled facile synthesis and antimicrobial activity of oximes and oxime ethers of diversely substituted bispidines // *Bioorg. Med. Chem. Lett*, 2010. – Vol. 20, No. 22. – P. 6452-6458. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2010.09.079>.

[9] **G.L. Balaji**, K. Rajesh, R. Janardhan, V. Vijayakumar. Synthesis of novel 9-((arylidene)hydrazono)-2,4,6,8-tetrakis(4-methoxyphenyl)-3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonane azines as potential antibacterial agents // *Res. Chem. Intermed*, 2015. – Vol. 41, No. 9. – P. 6497-6509. <https://doi.org/10.1007/s11164-014-1756-9>.

[10] **Bungaruang L.**, Gutmann A., Nidetzky B. β -Cyclodextrin improves solubility and enzymatic C-glucosylation of the flavonoid phloretin // *Adv. Synth. Catal*, 2016. – Vol. 358, No. 3. – P. 486-493. <https://doi.org/10.1002/adsc.201500838>.

[11] под ред. А.Н. Мironova. – М.: Гриф и К. Рукководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Ч. 1 /, 2012. – С. 339-340. [in Russian]

[12] Handbook: Good laboratory practice (GLP): quality practices for regulated non-clinical research and development. – 2nd ed. – Geneva: WHO, 2009. – 243 p. – URL: <https://iris.who.int/handle/10665/66894> (data obrashheniya: 06.10.2026).

[13] **Praliev, K.D.**, Iskakova T.K., Zhaksibaeva Zh.M., Togyzbaeva N.A., Kemel'bekov U.S., Ju V.K., Baktybaeva L.K., Svambaev E.A. Predpatent 19832 RK. 3-(3-Изопропoxипропил)-7-(2-морфолинoетил)-3,7-дiazabicyclo[3.3.1]nonana и промежуточные продукты его синтеза /; opubl. 15.08.2008, Бюл. № 8. – 14 с. [in Russian]

[14] **Zhaksibaeva, Zh.M.**, Abdil'danova A.A., Togyzbaeva N.A., Malmakova A.E., Serikbaeva K.T. Поиск фармакологически активных соединений в ряду производных биспидина // Идеи и наследие А.Е. Фаворского в органической и металлоорганической химии XXI века: материалы Всерос. молодёж. конф.-шк. – СПб., 2010. – С. 66. [in Russian]

[15] **Harkevich, D.A.** Фармакология: учебник. – 13-е изд., перераб. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2025. – 752 с.: ил. [in Russian]

ЖАҢА БИСПИДИНОН ТУЫНДЫСЫН СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ ОНЫҢ ТУБЕРКУЛЕЗГЕ ҚАРСЫ БЕЛСЕНДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Нұрлыбек Н.А., студент
Тоғызбаева Н.Ә.*, химия ғылымдарының кандидаты

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан

Аңдатпа. Соңғы онжылдықтарда фармацевтикалық нарықта пайда болған жаңа туберкулезге қарсы дәрілердің шектеулі саны мен *Mycobacterium tuberculosis* микобактериясының адам ағзасындағы жағдайларға байланысты сезімталдығын өзгерте алу қабілеті жаңа, тиімді дәрілерді іздеу мен әзірлеуді қажет етеді. Мұнда ұсынылған нәтижелер биспидинон туындыларының синтезі мен антибактериалдық қасиеттері туралы қазіргі түсінікті кеңейтеді — бұл химиялық қосылыстардың перспективалы класы. Алынған қосылыс айқын бактерицидтік белсенділік көрсетеді және оны отандық өндірісте шығарылатын жаңа, қауіпсіз туберкулезге қарсы дәрі-дәрмек әзірлеу негізі ретінде пайдалануға болады.

Синтезделген қосылыс құрылымын растау және негізгі қасиеттерін бағалау үшін тиісті физика-химиялық әдістерді қолдану арқылы сипатталды. Оның биологиялық белсенділігі тәжірибелік жағдайларда бағаланды, бұл тексерілген туберкулезбен байланысты микроорганизмдерге қарсы айтарлықтай тежегіш әсерді көрсетті. Алынған нәтижелер биспидинон каркасы жаңа туберкулезге қарсы препараттарды әзірлеу үшін перспективалы құрылымдық платформа бола алатынын көрсетеді. Оның практикалық фармацевтикалық қолданылуының әлеуетін бағалау үшін бактерияға қарсы әсер ету механизміне, уыттылығына, фармакологиялық қасиеттеріне және қосылыс құрылымын оңтайландыруға бағытталған қосымша зерттеулер қажет.

Тірек сөздер: биспидинон туындылары, О-бензойлоксим, β-циклодекстрин, кешен тұзу, бактерицидтік белсенділік.

ПОЛУЧЕНИЕ НОВОГО ПРОИЗВОДНОГО БИСПИДИНОНА И ОЦЕНКА ЕГО ПРОТИВОТУБЕРКУЛЁЗНОЙ АКТИВНОСТИ

Нұрлыбек Н.А., студент
Тоғызбаева Н.Ә.*, кандидат химических наук

Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан

Аннотация. Ограниченное количество новых противотуберкулёзных препаратов, появившихся на фармацевтическом рынке за последние десятилетия, а также способность микобактерий туберкулёза изменять свою чувствительность в зависимости от условий существования в организме человека обуславливают необходимость поиска и разработки новых эффективных лекарственных средств. Представленные результаты расширяют современные представления о синтезе и антибактериальных свойствах производных биспидинона — перспективного класса химических соединений. Полученное соединение проявляет выраженную бактерицидную активность и может быть использовано в качестве основы для создания нового безопасного противотуберкулёзного препарата отечественного производства.

Синтезированное соединение было охарактеризовано с помощью соответствующих физико-химических методов для подтверждения его структуры и оценки основных свойств. Его биологическая активность была изучена в экспериментальных условиях; при этом было выявлено выраженное ингибирующее действие в отношении исследованных микроорганизмов, ассоциированных с туберкулезом. Полученные результаты свидетельствуют о том, что биспидиновый каркас может служить перспективной структурной платформой для разработки новых противотуберкулёзных средств. Для оценки потенциала практического фармацевтического применения данного соединения необходимы дальнейшие исследования, направленные на изучение механизма антибактериального действия, токсичности и фармакологических свойств, а также на оптимизацию его структуры.

Ключевые слова: производные биспидинона, О-бензоилоксим, β-циклодекстрин, комплексобразование, бактерицидная активность.

Қолжазбаларды рәсімдеу жөнінде авторларға арналған нұсқаулық

«Journal of Chemistry and Chemical Education» журналында мақала жариялау үшін дайын ғылыми жұмысты автор(лар) Vestnik.korkyt.kz сайтындағы Онлайн мақала жіберу жүйесі арқылы, арнайы нұсқаулықты пайдаланып жіберуге болады. Мақала Windows 10 оперативті жүйесіндегі Word форматында Times New Roman шрифтінде жазылуы қажет (Осы талапта жазылмаған мақала автоматты түрде қабылданбайды). Жарияланым – тілдері қазақша, орысша, ағылшынша. Мақала құрылымы мен безендірілуі:

1. Мақала көлемі 6-12 бет аралығында болуы тиіс (аннотациялар мен әдебиеттер тізімін қоспағанда 6 беттен төмен болмауы тиіс).

– Мақаланы құру схемасы (беті – А4, кітаптық бағдар, туралау – ені бойынша. Сол жақ, үстіңгі және төменгі жақтарындағы ашық жиектері – 2,5 см, оң жағында – 2,0 см. Шрифт: тип Times New Roman, өлшемі – 12) (Windows 10 оперативті жүйесіндегі Word форматында);

- ХФТАР индексі – бірінші қатар жоғарыда, сол жақта (<http://grnti.ru>); оң жақта – журналдың doi индексі (префикс және суффикс) – редакцияда беріледі;

- мақала атауы – ортасына қалың он екінші қаріппен;

- автор(лардың)дың аты-жөндерінің бірінші қарпі мен тегі – ортаға 11-қаріп, (авторлар саны 5 адамнан артық болмауы тиіс);

- ұйым, қала, елдің толық атауы – ортаға, курсив – 11-қаріп;

- **Аңдатпа.** Түп нұсқа тілінде (**150-200 сөз**; мақала құрылымын сақтай отырып), өлшемі (кегль) – 11-қаріп;

- **Тірек сөздер** – қазақ, орыс, ағылшын тілдерінде (3-5 сөз/сөз тіркестері), өлшемі - (кегль) 11-қаріп;

- Негізгі мәтін (аралық интервал – 1, «азат жол» - 1,25 см, 12-қаріп) құрылымы төмендегідей болады:

2. **Кіріспе:** тақырыптың таңдалуын негіздеу; таңдалған тақырыптың, мәселенің өзектілігі, объектісі, пәні, мақсаты, міндеті, әдісі, тәсілі, тұжырымы және мағынасын анықтау

3. **Зерттеу материалдары мен әдістері:** материалдар мен жұмыс барысы сипаттамасынан, сондай-ақ пайдаланылған әдістердің толық сипаттамасынан тұруы тиіс.

4. Кестелер, суреттер айтылғаннан кейін орналастырылуы керек. Әр иллюстрациямен жазу(өлшемі (кегль) – 11) болуы керек. Суреттер анық, таза, сканерленбеген болуы керек.

Мақала мәтінінде сілтемелер бар формулалар ғана нөмірленеді. Мәтінде сілтемелер тік жақшада көрсетіледі. Сілтемелер мәтінде қатаң түрде нөмірленуі керек.

5. **Нәтижелер/талқылау:** зерттеу нәтижелерін талдау және талқылау келтіріледі.

6. **Қорытынды/қорытындылар:** осы кезеңдегі жұмысты қорытындылау; автор айтқан ұсынылған тұжырымның ақиқатын растау. Жұмысты қаржылық қолдау туралы ақпарат Қорытындыдан кейін түседі. Әдебиеттер тізімі (өлшемі (кегль) – 11, пайдаланылған әдебиеттер саны – 15-тен кем болмауы қажет). Әдебиеттер тізімінде кириллицада ұсынылған жұмыстар болған жағдайда әдебиеттер тізімін екі нұсқада ұсыну қажет: біріншісі – түпнұсқада, екіншісі – романизацияланған алфавитпен (транслитерация). Мақаладағы дәйексөз тізімінде тек рецензияланған әдебиет көздері, DOI индексі бар әдебиеттер болуы тиіс. Романизацияланған әдебиеттер тізімі <http://www.translit.ru> сайты арқылы рәсімделуі керек.

7. Авторлар туралы мәліметтер: (автордың(лардың) аты-жөні, ұйымның толық атауы, қаласы, елі, байланыс деректері: телефоны, эл.пошта, орсид номері) 3 тілде.

8. Келген мақала талапқа сай рәсімделген жағдайда ғана Антиплагиат бағдарламасынан өткізіледі. Түпнұсқалығы 80 % - дан жоғары көрсеткіште болған мақала Редакцияның қарауына жіберіледі. Ал 80% - дан төмен болған мақала автордың толықтыруына жіберіледі. Ал, екінші рет өткізілген жағдайда тиісті көрсеткіш болмаса жарияланымға қабылданбайды. Рецензенттердің оң пікірінен соң мақала журналға қабылданып, авторға төлем жасау жөнінде хабарлама жіберіледі. Автор төлемақының түбіртегін редакцияның электронды почтасына жіберуге міндетті (chemistry_journal@korkyt.kz).

Руководство для авторов по оформлению рукописей

Готовая научная работа для публикации в журнале «Journal of Chemistry and Chemical Education» может быть подана автором (авторами) через систему онлайн подачи статей на сайте vestnik.korkyt.kz, используя специальные инструкции. Статья должна быть написана в формате Word в Windows 10 шрифтом Times New Roman (статья, не написанная в соответствии с этим требованием, не будет принята автоматически). Язык публикаций казахский, русский, английский.

Структура и оформление статьи:

1. Объем статьи в пределах от 6 до 12 страниц (не менее 6 страниц, за исключением аннотаций и списка литературы).

- Схема построения статьи (страница – А 4, книжная ориентация, поля с левой, верхней и нижней сторон – 2,5 см, с парвой – 2,0 мм. Шрифт: тип – Times New Roman, размер (кегель) - 12) (В формате Word в операционной системе Windows 10):

- индекс МРНТИ - первая строка сверху слева (<http://grnti.ru>); индекс DOI (предоставляется редакцией журнала);

- название статьи – прописными буквами по центру полужирным шрифтом, размер – 12;

- инициалы и фамилию автора(ов) – по центру полужирным шрифтом, размер (кегель) – 11 (адрес эл.почты авторов, номер орсид, количество авторов не должно превышать 5 человек);

- полное наименование организации, город, страна – по центру, курсив, размер - 11.

- **Аннотация** на языке оригинала (150-200 слов; сохраняя структуру статьи) размер - 11.

- **Ключевые слова** (на казахском, русском, английском от 5 до 8 слов/словосочетаний) размер (кегель) - 11.

- Основной текст (12 шрифт, межстрочный интервал - 1, отступ «красной строки» - 1,25 см), структура:

2. **Введение:** обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы, определение объекта, предмета, целей, задач, методов, подходов, гипотезы и значения работы.

3. **Материалы и методы исследования:** должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

4. В статье нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте. В ссылках в тексте указывается в квадратных скобках.

5. **результаты/обсуждение:** приводится анализ и обсуждение полученных результатов исследования.

6. **заключение/выводы:** обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором.

Список литературы (размер (кегель) – 11, количество используемой литературы не менее 15). При наличии в списке литературы работ, представленных на кириллице, список литературы должен быть представлен в двух вариантах: первый - в оригинале, второй - в латинизированном алфавите (транслитерация). Список ссылок в статье должен содержать только рецензируемые литературные источники, литературу с индексом DOI. Список латинизированной литературы должен быть подготовлен через сайт <http://www.translit.ru>.

7. Сведения об авторах: (должны содержать ФИО автора (ов), полное наименование организации, город, страна, контактные данные: телефон, эл.почта, номер орсид) на 3-х языках.

8. Статья должна обладать не менее 80% уникальности текста для публикаций. В случае если оригинальность статьи ниже 80%, работа будет возвращена автору для исправления и корректировки. После вторичной проверки статья набирает необходимого показателя в антиплагиат, направляется на рассмотрение редакционной коллегии. Статья, не отвечающая соответствующим требованиям, оригинальность которой, проверена дважды, к публикации не принимается. После положительного отзыва рецензентов, статья принимается для публикации в журнал и автору направляется уведомление об оплате. Автор обязан отправить квитанцию об оплате на электронную почту редакции (chemistry_journal@korkyt.kz).

Manual for authors of manuscripts

Ready scientific work for publication in the journal «Journal of Chemistry and Chemical Education» can be submitted by the author (authors) through the system of online submission of articles on the site vestnik.korkyt.kz, using special instructions. The article should be written in Word format in Windows 10 in Times New Roman font (an article not written in accordance with this requirement will not be accepted automatically). Language of publications Kazakh, Russian, English.

Structure and design of the article:

1. The size of the article ranges from 6 to 12 pages at least 6 pages, excluding annotations and bibliography).

- description of the scheme of the article (page - A 4, book orientation, indents are calculated with respect to the left top and bottom sides [page margins](#)-2.5 m, with right - 2.0 m, Standard [font](#) : type - Times New Roman, size (font) - 12) (Word format on Windows 10 operating system):

- the ISTIR index is the first line at the top left (<http://grnti.ru>).
- DOI index (provided by the editorial office);
- title of article – with capital letters, alignment on the center in bold, size (font) 12.
- initials and last name of author(s) - alignment on the center in bold, size (font) – 11, (e-mail address of the authors, orsid number, the number of authors should not exceed 5 people);
- the full name of the organization, city, country, alignment on the center, italic, size (font) - 11.
- **Annotation** in the original language (150-200 words; retaining the structure of the article) size (font) - 11.
- **Keywords** (in Kazakh, Russian, English from 5 to 8 words/phrases) size (font) - 11.
- **Main text** (12 font, line spacing - 1, indentation of red line#- 1.25 cm)
- Structure:

2. **Introduction:** rationale for the selection of the topic; relevance of the topic or problem; definition of the object, subject, objectives, tasks, methods, approaches, hypotheses and meanings of the work.

3. **Research materials and methods:** should consist of a description of the materials and the progress of work, as well as a full description of the methods used.

4. In the article, only those formulas that are referenced in the text are numbered. References in the text are indicated in square brackets.

5. **Results/discussion:** an analysis and discussion of the results of the study is given.

6. **Conclusion/conclusions:** summarizing and summarizing the work at this stage; confirmation of the truth of the assertion put forward by the author.

List of references (size (point size) - 11, the number of used literature is at least 15). If there are works presented in Cyrillic in the list of references, the list of references should be presented in two versions: the first - in the original, the second - in the Latinized alphabet (transliteration). The list of references in the article should contain only peer-reviewed literary sources, literature with a DOI index. The list of romanized literature should be prepared through the site <http://www.translit.ru>.

7. Information about the authors: (should contain the full name of the author (s), full name of the organization, city, country, contact details: telephone, e-mail, orsid number) in 3 languages.

8. The article must have at least 80% uniqueness of the text for publication. If the originality of the article is below 80%, the work will be returned to the author for correction and correction. After a secondary check, the article gains the required indicator in anti-plagiarism, and is sent for consideration by the editorial board. An article that does not meet the relevant requirements, the originality of which is double-checked, is not accepted for publication. After a positive feedback from the reviewers, the article is accepted for publication in the journal and the author is sent a notification of payment. The author is obliged to send a payment receipt to the editorial office by e-mail (chemistry_journal@korkyt.kz).

МАЗМҰНЫ

Ауылшаруашылық қалдықтарын өңдеу бойынша зертханалық жұмыстарға негізделген университетте химияны оқыту әдістемесі Еспанова И.Д., Абызбекова Г.М.	8
Күріш қауызнан өсімдік майын алу және оның негізіндегі май қышқылдарының моноглицеридтерін синтездеу Алимхан Б.Г., Қанжар С.А., Тапалова А.С., Аппазов Н.О.	18
Коллоидтық химия курсында нанохимия бойынша контексттік тапсырмаларды қолдану студенттердің концептуалдық түсінігі мен функционалдық сауаттылығына әсері Ниязова Д.Ж., Тапалова Ә.С., Ақылбеков Н.И.	29
Мыс(II) және ванадий (IV) кешендерінің редокс-белсенді bian-лигандтармен циклогександы сутек пероксидімен гомогенді каталитикалық тотықтырудағы рөлі Фоменко Я.С., Гущин А.Л.	34
Жаңа биспидинон туындысын синтездеу және оның туберкулезге қарсы белсенділігін бағалау Нұрлыбек Н.А., Тоғызбаева Н.Ә.	44

СОДЕРЖАНИЕ

Методика обучения химическому образованию в вузе на основе лабораторных работ по переработке сельскохозяйственных отходов Еспанова И.Д., Абызбекова Г.М.	8
Получение растительного масла из рисовой шелухи и синтез моноглицеридов жирных кислот на его основе Алимхан Б.Г., Канжар С.А., Тапалова А.С., Аппазов Н.О.	18
Влияние контекстных заданий по нанохимии на концептуальное понимание и функциональную грамотность студентов в курсе коллоидной химии Ниязова Д.Ж., Тапалова А.С., Ақылбеков Н.И.	29
Комплексы меди(II) и ванадия(IV) с редокс-активными bian-лигандами в гомогенном каталитическом окислении циклогексана пероксидом водорода Фоменко Я.С., Гущин А.Л.	34
Получение нового производного биспидинона и оценка его противотуберкулезной активности Нұрлыбек Н.А., Тоғызбаева Н.Ә.	44

CONTENT

A Methodology For Teaching Chemistry At University Based On Laboratory Work On The Processing Of Agricultural Waste Yespanova I.D., Abyzbekova G.M.	8
Production Of Vegetable Oil From Rice Husk And Synthesis Of Fatty Acid Monoglycerides Based On It Alimkhan B.G., Kanzhar S.A., Tapalova A.S., Appazov N.O.	18
Context-Based Nanochemistry Tasks In A Colloid Chemistry Course: Effects On Students' Conceptual Understanding And Functional Literacy Niyazova D., Tapalova A., Akylbekov N.	29
Copper(II) And Vanadium(IV) Complexes With Redox-Active Bian Ligands In The Homogeneous Catalytic Oxidation Of Cyclohexane With Hydrogen Peroxide Fomenko Ya.S., Gushchin A.L.	34
Synthesis Of A New Bispidinone Derivative And Evaluation Of Its Antitubercular Activity Nurlybek N.A., Togyzbayeva N.A.	44

JOURNAL OF CHEMISTRY AND CHEMICAL EDUCATION

Редакция мекен-жайы: 120014, Қызылорда қаласы, Әйтеке би көшесі, 29 «А», Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті Телефон: (7242) 27-60-27 Факс: 26-27-14 E-mail: chemistry_journal@korkyt.kz	Адрес редакции: 120014, город Кызылорда, ул. Айтеке би, 29 «А», Кызылординский университет им. Коркыт Ата Телефон: (7242) 27-60-27 Факс: 26-27-14 E-mail: chemistry_journal@korkyt.kz	Address of edition: 120014, Kyzylorda city, 29 «A» Aiteke bie str., Korkyt Ata Kyzylorda University Tel: (7242) 27-60-27 Fax: 26-27-14 E-mail: chemistry_journal@korkyt.kz
--	--	---

2026 жылдан бастап шығады
Издается с 2026 года
Published since 2026

Жылына төрт рет шығады
Издается четыре раза в год
Published four times a year

Құрылтайшысы: «Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» КеАҚ
Учредитель: НАО «Кызылординский университет им. Коркыт Ата»
Founder: «Korkyt Ata Kyzylorda University» NJSC

Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігі, Ақпарат комитеті
берген № KZ27VPY00152124 15-маусым, 2026 ж.
бұқаралық ақпарат құралын есепке алу куәлігі

Свидетельство о регистрации средства массовой информации, выданное
Министерством информации и общественного развития Республики Казахстан
№ KZ27VPY00152124 15-июнь, 2026 г.

Техникалық редакторы: Турманов Р.
Компьютерде беттеген: Махашов А.

Теруге 23.09.2026 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2026 ж. қол қойылды.
Форматы 60 × 841/8. Көлемі 3,4 шартты баспа табақ. Индекс 76217.
Таралымы 50 дана. Тапсырыс 0215 Бағасы келісім бойынша.

Сдано в набор 23.09.2026 г. Подписано в печать 30.09.2026 г.
Формат 60 × 841/8. Объем 3,4 усл. печ. л. Индекс 76217.
Тираж 50 экз. Заказ 0215. Цена договорная.

Жарияланған мақала авторларының пікірі редакция көзқарасын білдірмейді. Мақала мазмұнына автор жауап береді. Қолжазбалар өңделеді және авторға қайтарылмайды. Журналда жарияланған материалдарды сілтемесіз көшіріп басуға болмайды.

Опубликованные статьи не отражают точку зрения редакции. Автор несет ответственность за содержание статьи. Рукописи редактируются и авторам не возвращаются. Материалы, опубликованные в журнале, не могут быть воспроизведены без ссылки.

The published articles do not reflect the editorial opinion. The author is responsible for the content of the article. Manuscripts are edited and are not returned the authors. Materials published in the journal can not be published without reference.

Университет баспасы:
120014, Қызылорда қаласы, Әйтеке би көшесі, 29А.