

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ОТДЕЛЕНИЕ ХИМИИ И НАУК О ЗЕМЛЕ
ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
ИНСТИТУТ ХИМИИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НАН БЕЛАРУСИ
ИНСТИТУТ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА ИМЕНИ А. В. ЛЫКОВА НАН БЕЛАРУСИ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ БГУ

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО НАУКЕ
И ТЕХНОЛОГИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**КОНЦЕРН «БЕЛНЕФТЕХИМ»
КОНЦЕРН «БЕЛЛЕСБУМПРОМ»**

**БЕЛОРУССКИЙ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

СОВЕТ ПО НЕФТЕХИМИИ МААН

БЕЛОРУССКОЕ ХИМИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

ИНСТИТУТ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ИМ. А. В. ТОПЧИЕВА РАН
ИНСТИТУТ КАТАЛИЗА ИМ. Г. К. БОРЕСКОВА СО РАН
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**IX МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ
СЫРЬЯ И ТОПЛИВА**

17–20 октября 2023 г.
г. Минск, Беларусь

Минск
«Беларуская навука»
2023

УДК 620.92:005.745(0432)

ББК 31.15:94.3

A58

Редакционная коллегия:

В. Е. Агабеков, В. А. Хрипач, В. И. Поткин,

Ж. В. Игнатович, Ю. К. Михайловский

Альтернативные источники сырья и топлива: тез. докл.
A58 IX Междунар. науч.-техн. конф. «АИСТ-2023», Минск,
17–20 октября 2023 г. В 2 ч. Ч. 1. – Минск, 2023. – 226 с.

В сборник включены тезисы докладов участников IX Международной научно-технической конференции «АИСТ-2023».

Сборник предназначен для специалистов, работающих в области проблем энергобезопасности, поиска и создания альтернативных источников сырья и топлива, повышения рентабельности химических производств и наукоемкости продукции, а также научным работникам, преподавателям вузов, аспирантам и студентам химических и технических факультетов.

УДК 620.92:005.745(0432)

ББК 31.15:94.3

© Институт химии новых материалов
НАН Беларуси, 2023

© Оформление. РУП «Издательский дом
«Беларуская навука», 2023

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ОТДЕЛЕНИЕ ХИМИИ И НАУК О ЗЕМЛЕ
ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
ИНСТИТУТ ХИМИИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НАН БЕЛАРУСИ
ИНСТИТУТ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА ИМ. А. В. ЛЫКОВА
НАН БЕЛАРУСИ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИ-
ВЕРСИТЕТ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ БГУ

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО НАУКЕ
И ТЕХНОЛОГИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

КОНЦЕРН «БЕЛНЕФТЕХИМ»
КОНЦЕРН «БЕЛЛЕСБУМПРОМ»

**БЕЛОРУССКИЙ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

СОВЕТ ПО НЕФТЕХИМИИ МААН

БЕЛОРУССКОЕ ХИМИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

ИНСТИТУТ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА
ИМ. А. В. ТОПЧИЕВА РАН
ИНСТИТУТ КАТАЛИЗА ИМ. Г. К. БОРЕСКОВА СО РАН
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатели:

- Гусаков В. Г. академик, Председатель Президиума НАН Беларуси
Пармон В. Н. академик, Вице-Президент Российской академии наук

Сопредседатели:

- Кильчевский А. В. академик, Заместитель Председателя Президиума НАН Беларуси
Агабеков В. Е. академик НАН Беларуси
Михадюк М. И. Зам. Министра энергетики, Беларусь

Члены оргкомитета

- Баулин О. А. профессор, Россия (Уфа)
Бильдюкевич А. В. академик НАН Беларуси
Бухтияров В. И. академик РАН (Новосибирск)
Войтов И. В. профессор, ректор БГТУ, Беларусь
Гапоненко С. В. академик НАН Беларуси
Григорьев А. Я. член-корр. НАН Беларуси
Злотский С. С. член-корр. АН Башкортостана (Уфа)
Иванец А. И. член-корр. НАН Беларуси
Ивашкевич О. А. академик НАН Беларуси
Китиков В. О. профессор, Беларусь
Косовский А. А. Первый зам. Председателя ГКНТ Беларуси
Кузнецов Б. Н. профессор, Россия (Красноярск)
Кулак А. И. академик НАН Беларуси
Мазгаров А. М. академик АН Респ. Татарстан (Казань)
Максимов А. Л. член-корр. РАН, Россия (Москва)
Малыгин А. А. профессор, Россия (Санкт-Петербург)
Мартьянов О. Н. профессор, Россия (Новосибирск)
Мурзин Д. Ю. профессор, Финляндия (Турку)
Пенязьков О. Г. академик НАН Беларуси
Рахманов С. К. член-корр. НАН Беларуси
Рогачев А. А. член-корр. НАН Беларуси
Свиридов Д. В. член-корр. НАН Беларуси
Сизов В. В. Зам. Председателя концерна «Белнефтехим», Беларусь
Аль-Кховайтер С. Н. профессор, Саудовская Аравия (Эр-Рияд)
Тавадян Л. А. академик НАН Армении (Ереван)
Фарзалиев В. М. академик НАН Азербайджана (Баку)
Цыганов А. Р. академик НАН Беларуси

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатели

Хрипач В. А. академик НАН Беларуси

Поткин В. И. академик НАН Беларуси

Заместители председателей

Плескачевский Ю. М. член-корр. НАН Беларуси

Прокопчук Н. П. член-корр. НАН Беларуси, БГТУ

Члены программного комитета

Воробьёва Т. Н. профессор, Беларусь

Кошевар В. Д. профессор, Беларусь

Крутько Э. Т. профессор, Беларусь

Кадиев Х. М. профессор, Россия

Секретариат

к.х.н. Игнатович Ж. В., Беларусь (Минск)

к.х.н. Куликовская В. И., Беларусь (Минск)

к.х.н. Михайловский Ю. К., Беларусь (Минск)

к.х.н. Латыпова Ф. Н., Россия (Уфа)

д.т.н. Шавшукова С. Ю., Россия (Уфа)



**ТЕЗИСЫ
ПЛЕНАРНЫХ
ДОКЛАДОВ**



АЭС В БЕЛАРУСИ: ПЕРВЫЕ ИТОГИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Михалевич А. А.

Институт энергетики НАН Беларуси, г. Минск

Многолетними исследованиями, в том числе и в рамках международных проектов, установлено, что единственным безальтернативным вариантом обеспечения энергетической безопасности Республики Беларусь в обозримом будущем является развитие собственной атомной энергетики. Тем более, что еще в прошлом столетии в стране накоплен уникальный опыт разработки АЭС и использования атомной энергии в народном хозяйстве, начиная с пуска исследовательского реактора в 1962 году.

В 2021 г. был введен в эксплуатацию первый блок АЭС мощностью 1,17 ГВт, в 2022 г. – осуществлен физический пуск второго блока и в октябре 2023 г. намечена сдача его в коммерческую эксплуатацию.

В течение 2021–2022 годов на первом блоке Белорусской АЭС выработано 13,3 % электроэнергии для рынка. Ожидается, что в 2024 г. этот показатель превысит 30 %, что позволит сэкономить 4,5 млрд куб. м импортируемого природного газа и на 7,8 % сократить выбросы парниковых газов.

Ввод в эксплуатацию АЭС отразился и на структуре потребления энергоресурсов в стране. Показатель энергетической самостоятельности в 2022 году по сравнению с 2015 г. вырос с 14,2 % до 22,8 %, электроемкость ВВП – с 376 до 391 кВт·ч/млн руб., потребления электроэнергии на душу населения – с 3,9 до 4,2 тыс. кВт·ч.

После вывода АЭС на полную мощность эти показатели будут значительно улучшены.



СИНТЕЗ ФУНКЦИОналиЗИРОВАННЫХ АЗАГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ АНСАМБЛЕЙ С ВЫСОКИМ ПОТЕНЦИАЛОМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

**Поткин В. И.^{a)}, Зубков Ф. И.^{b)}, Никитина Е. В.^{b)},
Алексеева К. А.^{b)}, Колесник И. А.^{a)}**

*a) Институт физико-органической химии
НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь.*

E-mail: potkin@ifoch.bas-net.by

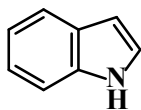
*b) Российский университет дружбы народов, 117198,
Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6.*

E-mail: fzubkov@sci.pfu.edu.ru

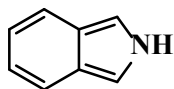
Разработка подходов к синтезу соединений, перспективных для создания новых эффективных фармобстанций и пестицидов входит в число приоритетных направлений развития органического синтеза. Одним из решений этой проблемы является дизайн и конструирование полициклических ансамблей, содержащих фармакофорные азагетероциклы, обладающие различным биологическим действием. Сочетание нескольких фармакофоров в одной молекуле может привести к высокой биоактивности, а при определенной комбинации - к проявлению эффекта синергизма в композициях с противоопухолевыми химиотерапевтическими препаратами, что позволяет снизить их терапевтическую дозу. В случае агрохимии – это путь к преодолению резистентности опасных микроорганизмов к применяемым препаратам.

В ходе совместных исследований в рамках грантов БРФФИ-РНФ №Х23РНФ-051 (БРФФИ) и №23-43-10024 (РНФ) коллективами ИФОХ НАН Беларуси и РУДН, г. Москва осуществляется синтез функционализированных соединений, сочетающих в молекулах различные фармакофорные гетероциклические фрагменты: индола, изоиндола, пирана, пиридина, пиримидина, изотиазола, изоксазола и их дигидропроизводных. Каждый из

этих гетероциклов образует большую группу биоактивных производных и входит в структуры фармацевтических субстанций и агрохимических агентов.



индол



изоиндол



пирин



пиридин



пиримидин



изоксазол

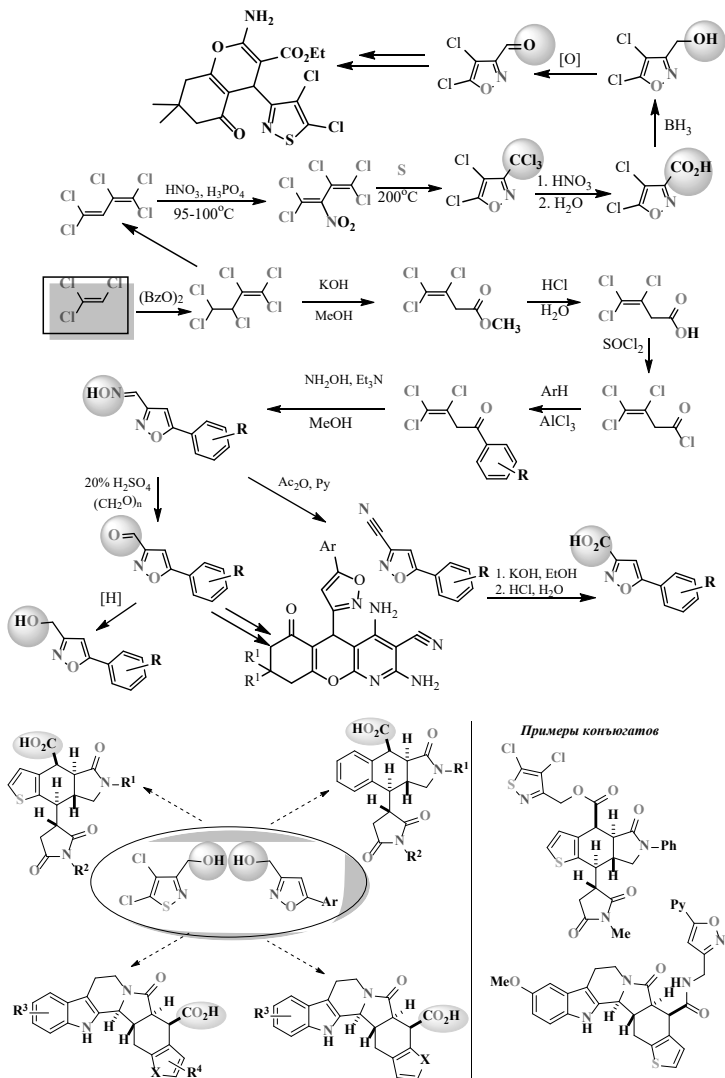


изотиазол

Белорусским коллективом разработаны удобные способы получения изоксазолов и изотиазолов путем последовательных превращений доступного промышленного трихлорэтилена. Все стадии синтеза базовых 1,2-азолов технологичны, не требуют особых условий и могут быть легко масштабируемы. В результате получен широкий ряд изоксазолов и изотиазолов с активными функциональными группами, которые могут быть использованы в дальнейших целенаправленных превращениях. Среди синтезированных 1,2-азолов выявлены представители, усиливающие действие коммерческих инсектицидов, что позволяет снизить нормы их расхода. Некоторые изоксазолы и изотиазолы усиливают действие фармацевтических препаратов первой линии в отношении нейроэпителиальных опухолей, что открывает путь к совершенствованию химиотерапии рака и снижению токсических эффектов лекарственных субстанций, применяемых на практике.

Российская сторона специализируется на получении карбоксилзамещенных фармакофорных скаффолдов со скелетом индола, изоиндола, β -карболина. В качестве синтетических решений используются IMDAV (IntraMolecular Diels-Alder Vinylarenes reaction) и IMDAF (IntraMolecular Diels-Alder Furan reaction) – подходы, в применении которых российская сторона имеет большой опыт.

Последующая конъюгация индольных и изоиндольных производных с 1,2-азолами белорусских партнеров приводит к азагетероциклическим молекулярным ансамблям с высоким потенциалом биологической активности.





НОВЫЕ КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ КАСКАДНЫХ РЕАКЦИЙ ТЕРПЕНОИДОВ

Сидоренко А. Ю.

*Институт химии новых материалов НАН Беларуси,
г. Минск*

Перспективным направлением развития «зеленой химии» является использование возобновляемого сырья в tandemных (каскадных) реакциях, преимуществом которых является последовательное образование нескольких химических связей в одном реакционном пространстве [1]. Необходимо отметить, что литературные данные об эффективных гетерогенных каталитических системах для каскадных реакций терпеноидов в литературе практически отсутствуют, что делает разработку таких катализаторов актуальной задачей.

Так, изучен ряд SO_3H -функционализованных углеродных и алюмосиликатных наноматериалов (углеродные и алюмосиликатные нанотрубки, монтмориллонит, биоуголь) в качестве катализаторов tandemной реакции Принса-Риттера (-)-изопулегола с бензальдегидом и ацетонитрилом, использованной для синтеза биоактивных амидов октагидро-2*H*-хроменов [2, 3]. Показано сильное влияние добавления воды в реакционную систему на общую селективность и соотношение образующихся стереоизомеров. Выход 4*R*-изомера резко возрастает с увеличением количества H_2O , тогда как наибольшее количество 4*S*-изомера наблюдалось при минимальной добавке воды. Экспериментальные результаты и расчеты методом теории функционала плотности (ТФП) четко указывают на кинетический контроль при образовании 4*R*-амида [9]. Общий выход амидов в мягких условиях (до 84,0 %) превышал таковой при -25°C в присутствии токсичных гомогенных катализаторов [2, 3].

Каскадная реакция синтезированного из 3-карена терпеноида 4-гидроксиметил-2-карена с ароматическими альдегидами

изучена в присутствии мезопористых галлуазитовых, иллито-вых и монтмориллонитовых алюмосиликатов [4]. Показано, что наибольший выход целевых тетрациклических соединений наблюдается в присутствии монтмориллонита К-10 с кислотностью (104,0 мкмоль/г). Методом ТФП установлено, что образование полициклического продукта энергетически более выгодно, чем формирование изобензофурановых соединений. Конденсация 4-гидроксиметил-2-карена с рядом карбонильных соединений на высушенном при 200°C катализаторе К-10 протекает с выходами целевых полициклических продуктов до 97,0 % [4].

Изучена каталитическая конденсация α -пинена (основного компонента скипидара) с формальдегидом (ФА), используя уксусную кислоту в качестве растворителя [5]. В качестве целевого продукта реакции получен 8-ацетокси-4-гидроксиметиллимонен, новый терпеноид, который можно рассматривать как хиральную платформу для дальнейшего синтеза. На галлуазитовых нанотрубках и монтмориллоните К-10 с невысокой кислотностью (45,0–104,0 мкмоль/г) преимущественно образуются побочные продукты прямого протонирования α -пинена (до 52,8 %). В присутствии же более кислотного цеолита H-Beta-25 (301,0 мкмоль/г), либо фосфорной кислоты значения селективности по продуктам присоединения ФА к исходному реагенту (32,3–35,3 %) и его прямого протонирования (30,0–36,8 %) сопоставимы. Однако при использовании H_3PO_4 количество производных борнеола, образующихся в результате перегруппировки Вагнера-Меервейна является наименьшим (13,5 %), что приводит к наибольшей селективности по целевому 8-ацетокси-4-гидроксиметиллимонену (24,0 %).

Работа выполнена совместно с Новосибирским институтом органической химии СО РАН (РФ, проф. К.П. Волчо, проф. Н.Ф. Салахутдинов), университетом Abo Akademi (Финляндия, проф. Д.Ю. Мурзин) и Universidade do Porto (Порту, Португалия, д-р А.Ф. Peixoto).

Литература

1. A. Behr, A.J. Vorholt, K.A. Ostrowski, T. Seidensticker, *Green Chem.*, 2014, 16, 982–1006.
2. A.Yu. Sidorenko, N.S. Li-Zhulanov, P. Mäki-Arvela, T. Sandberg, A.V. Kravtsova, A.F. Peixoto, C. Freire, K.P. Volcho, N.F. Salakhutdinov, V.E. Agabekov, D.Yu. Murzin, *ChemCatChem*, 2020, 12, 2605 – 2609.
3. A.Yu. Sidorenko, Yu.M. Kurban, A.F. Peixoto, N.S. Li-Zhulanov, J.E. Sánchez-Velandia, A. Aho, J. Wärnå, Y. Gu, K.P. Volcho, N.F. Salakhutdinov, D.Yu. Murzin, V.E. Agabekov, Brønsted acid catalyzed Prins-Ritter reaction for selective synthesis of terpenoid-derived 4-amidotetrahydropyran compounds, *Appl. Catal. A:Gen.*, 2023, 649, 118967.
4. A.Yu. Sidorenko, Yu.M. Kurban, A.V. Kravtsova, I.V. Il'ina, N.S. Li-Zhulanov, D.V. Korchagina, J.E. Sánchez-Velandia, A. Aho, K.P. Volcho, N.F. Salakhutdinov, D.Yu. Murzin, V.E. Agabekov, Clays catalyzed cascade Prins and Prins-Friedel-Crafts reactions for synthesis of terpenoid-derived polycyclic compounds, *Appl. Catal. A:Gen.*, 2022, 629, 118395.
5. A.Yu. Sidorenko, Yu.M. Kurban, I.V. Il'ina, N.S. Li-Zhulanov, O.S. Patrusheva, V.V. Goltsova, M.P. Bei, A. Aho, J. Wärnå, I. Heinmaa, T.F. Kouznetsova, K.P. Volcho, N.F. Salakhutdinov, D.Yu. Murzin, V.E. Agabekov, Catalytic condensation of α -pinene with formaldehyde, *J. Catal.*, (Submitted).



СОЕДИНЕНИЯ-ПЛАТФОРМЫ В ОРГАНИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ И НЕФТЕХИМИИ

**Злотский С. С., Султанова Р. М., Борисова Ю. Г.,
Раскильдина Г. З.**

*Уфимский государственный нефтяной технический
университет, г. Уфа, Россия*

Современная малотоннажная химия и тонкий органический синтез базируются на ограниченном числе ключевых соединений, сырьем для которых являются дешевые и доступные продукты нефтехимии [1]. К базовым соединениям-платформам относятся продукты трансформации олефинов и диенов – замещенные гем-дихлорциклопропаны и 1,3-диоксацикланы [2]. Эти соединения легко с количественным выходом образуются в результате присоединения дихлоркарбена по двойным углерод-углеродным связям по методу Макоши (схема 1) и конденсации олефинов с альдегидами (реакция Принса) в присутствии кислотных катализаторов (схема 2).

Схема 1

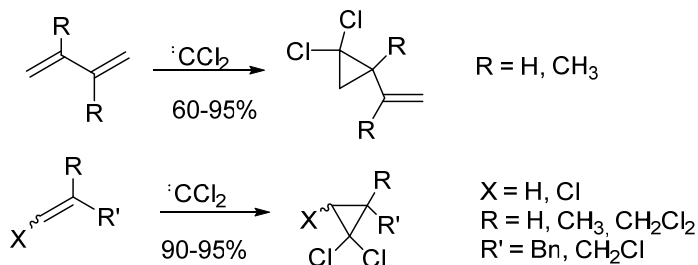
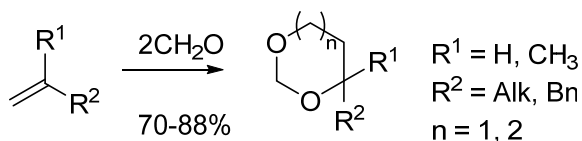


Схема 2



В докладе рассматриваются способы получения базовых замещенных гем-дихлорциклопропанов и 1,3-диоксацикланов на основе продуктов нефтепереработки. Приведены отдельные реакции *O*-, *N*-, *C*-алкилирования этих соединений, приводящих к образованию гетероциклов, содержащих гем-дихлорциклопропановый и 1,3-диоксолановый фрагменты. Представлены данные по радикальной полимеризации, сополимеризации, низкотемпературному озонолу, каталитической изомеризации винил-гем-дихлорциклопропанов, а также изучению реакций 2,2-диметил-1,3-диоксолана с диазоацетоуксусным эфиром.

Показаны возможности применения синтезированных веществ в качестве биологически активных соединений, а также препаратов, способных ингибировать кислотную коррозию металлов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России «Разработка и создание малотоннажных продуктов и реагентов (ингибиторы коррозии и солеотложения, антиоксиданты, биоциды, присадки и др.) для процессов нефтегазохимии и очистки водных сред от загрязнений, замещающих импортные вещества и материалы. Теоретические и экспериментальные подходы. (FEUR-2023-0006).

Литература

1. Максимов А.Л., Нехаев А.И., Рамазанов Д.Н. // Нефтехимия. – 2015. – Т. 55. – № 3. – С. 3-24.
2. Раскильдина Г.З., Султанова Р.М., Злотский С.С. // Известия УНЦ РАН. – 2019. – №.3. – С. 5-18.



СВОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БИОМАТЕРИАЛОВ, ОСАЖДЕННЫХ ИЗ АКТИВНОЙ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

**Рогачев А. В.^{a)}, Ярмоленко М. А.^{a)},
Рогачев А. А.^{b)}, Цзян Сяо Хун^{c)}**

*a) Гомельский государственный университет
им. Ф. Скорины, г. Гомель, Беларусь*

*b) Институт химии новых материалов НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь*

*c) Нанкинский университет науки и технологии,
г. Нанкин, КНР*

При разработке технологий, материалов, используемых при модифицировании имплантатов, восстановлении или регенерации поврежденной костной ткани, особенно сегментарных костных дефектов, важным является обеспечение предъявляемых к ним комплексных требований, в числе которых основными являются ингибирование биопленок, исключение бактериальных инфекций в течение достаточно длительного времени, адекватная биосовместимость, значительное поглощение продуктов распада, простота обработки.

В сравнении с известными растворными, твердофазными технологиями формирование нанокпозиционных пленочных материалов из активной газовой фазы является более универсальным, многвариантным, позволяющим в широких пределах изменять состав, молекулярную архитектуру осаждаемых слоев. При этом в качестве основных преимуществ, определяющих в значительной степени достаточно высокую эффективность применения осаждения покрытий из активной газовой фазы следует также отметить возможность управления простыми технологическими приемами кинетическими параметрами высвобождения лекарственного компонента в живых тканях путем введения в полимерное, биodeградируемое покрытие функциональных лечебных (антибактериальных, соединений остеосинтеза) препаратов. При этом использование плазмохимического

синтеза функциональных покрытий исключает применение жидких сред, являющихся источником загрязнений, позволяет регулировать в широких пределах состав, структуру, морфологию и, соответственно, физико-механические свойства покрытий, нанесение практически равнотолщинных слоев, обеспечение высокой стерильности и т. д. [1].

На примере ципрофлоксацина и клотримазола показана возможность использования данного метода для формирования антибактериальных полимерных покрытий с пролонгированным высвобождением лекарственного соединения [2]. Использование диспергирования низкоэнергетическим электронным потоком лекарственных соединений со сложной молекулярной структурой (ванкомицин, микафунгин и др.) при одновременном воздействии на зону диспергирования ультразвуковых колебаний были получены покрытия без заметного изменения их молекулярной структуры. Установлена высокая эффективность данного метода при нанесении покрытий на поверхности имплантатов с целью снижения образования биопленок [1].

В [3] показано, что многократное воздействие потока электронов на конденсированные продукты диспергирования поливинилхлорида сопровождается образованием полисопряженных структур, лишенных хлора, и после термической обработки углеродородного слоя образуются графитоподобная фаза из полиеновых фрагментов длиной до 8 звеньев. При электронно-лучевом диспергировании смеси полимеров (полиэтилена, полилактида, политетрафторэтилена, полиуретана) и солей металлов (серебра, меди, золота, никеля, свинца, хрома, цинка) осаждаются нанокomпозиционные покрытия, содержащие наночастицы металлов, их или их соединений, проявляющие высокие антибактериальные свойства [4, 5]. При этом введение в состав мишени органических лекарственных препаратов, например ципрофлоксацина, позволяет формировать слои более сложного состава с более высокими свойствами.

Установлена высокая эффективность применения активной газовой фазы и при формировании комплексных металлосодержащих органо-неорганических покрытий на основе CaH_2/Mg ,

лимонной кислоты, глюкозы и фосфата аммония с избирательной стимулирующей и ингибирующей активностью в отношении различных микроорганизмов [5]. Отмечается, что осаждение пленочных материалов такого химического состава и структуры другими методами не представляется возможным.

Преимущество данного метода, заключающегося в возможности осаждения многослойных нанокomпозиционных покрытий в едином технологическом цикле, продемонстрировано на примере формирования двухслойных биоматериалов, нижний слой которых представляет собой смесь продуктов электронно-лучевого диспергирования поликапролактона и ципрофлоксацина, а верхний – слой их продуктов диспергирования полиуретана [6]. Слои в таком покрытии имеют однородную структуру и высокую прочность адгезионного соединения. При этом внешний полиуретановый слой, работающий как герметизирующий элемент, позволяет реализовать пролонгированное высвобождение лекарственного средства.

Уникальные возможности придания раневым повязкам высоких антибактериальных и противогрибковых свойств, регулирования сорбции лекарственного препарата реализованы при нанесении из активной газовой фазы трехслойных покрытий на основе CaH_2 , P_2O_5 , микрокристаллической целлюлозы и мирамистина [7]. Сформированное покрытие представляет собой сшитую их целлюлозы матрицу, содержащую частицы углерода и лекарственный компонент. Сшитая структура покрытия повышает устойчивость мирамистина к термической деградации, а высокая сорбционная активность марлевой подложки определяет экспоненциальный характер изменения концентрации мирамистина в растворе.

Литература

1. Ярмоленко М.А., Рогачев А.А., Лучников П.А., Рогачев А.В., Джанг Сянь Хун. Микро- и нанокomпозиционные полимерные покрытия, осаждаемые из активной газовой фазы. М. : Радиотехника. 2016. 424 с.

2. Xu Q., Xu Z., Xiaohong Jiang, Yarmolenko M.A., Rogachev A.A., Rogachev A.V. Surface & Coatings Technology, 2020, vol. 405, pp. 126584. doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126584

3. He C., Rogachev A.V., Li B., Yarmolenko V.A., Rogachev A.A., Tapal'skii D.V., Xiaohong Jiang, Sun D., Yarmolenko M.A. *Surface & Coatings Technology*, 2018, vol. 354, pp. 38–45. doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.09.013

4. Sun J., Rogachev A.V., Yarmolenko M.A., Rogachev A.A., Xiaohong Jiang, Tapal'skii D.V., Gorbachev D.L., Bepal'ko A.A. *RSC Adv.*, 2016, vol. 6, no 35, pp. 29220–29228. doi.org/10.1039/C6RA02933G

5. Liu Y., Rogachev A.V., Tan X., Rogachev A.A., Xiaohong Jiang, Pyzh A.E., Yarmolenko V.A., Yarmolenko M.A., Rudenkov A.S. *Vacuum*, 2023, vol. 209, pp.111803. doi.org/10.1016/j.vacuum.2022.111803

6. Xu Q., Xu Z., Xiaohong Jiang, Yarmolenko M.A., Rogachev A.A., Rogachev A.V. *Surface & Coatings Technology*, 2021, vol. 405, pp. 126584. doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126584

7. Liu Y., Qin X., Rogachev A.V., Rogachev A.A., Kontsevaya I.I., Pyzh A.E., Xiaohong Jiang, Yarmolenko V.A., Rudenkov A.S., Yarmolenko M.A. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2021, vol. 2, pp. 100146. doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100146



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОСНОВЫ РЕАЛИЗАЦИИ В РОССИИ МАЛОТОННАЖНОЙ НАНОТЕХНОЛОГИИ МОЛЕКУЛЯРНОГО НАСЛАИВАНИЯ

Малыгин А. А.

*Санкт-Петербургский государственный
технологический институт (технический
университет), Россия*

Одним из главных направлений решения проблемы импортозамещения в России является производство высокотехнологичной продукции, связанной, в том числе, и с развитием малотоннажной химии. Следует отметить, что малотоннажная химия в значительной степени обеспечивает также и крупнотоннажное производство. Однако, как отмечено в [1], «В общем объеме производства химической продукции малотоннажная химия составляет лишь десятую часть...». Для решения проблем в указанной области было издано Распоряжение Правительства РФ от 15 декабря 2017 г. № 2834-р «О плане мероприятий («дорожной карте») по развитию производства малотоннажной химии в РФ на период до 2030 г.».

Следует отметить, что в XXI веке работы в нанотехнологических направлениях могут внести существенный вклад и в развитие малотоннажной химии.

Метод молекулярного наслаивания (МН), приоритет в создании которого около 60 лет принадлежит советским ученым В.Б.Алесковскому и С.И.Кольцову, в полной степени соответствует критериям нанотехнологии и особенностям малотоннажной химии. Об этом свидетельствуют результаты как фундаментальных, так и прикладных исследований [2-5]. Все ведущие страны мира проводят исследования в области МН (наиболее часто используемое зарубежное название метода МН – Atomic Layer Deposition – ALD) [3]. Как следствие, на базе результатов всего комплекса проведенных работ, возникает необходимость

решения целого ряда задач с целью внедрения метода МН в реальный сектор экономики. Особенно остро звучит в настоящее время эта проблема для России в связи с требованиями быстрой и эффективной реализации импортозамещения.

Благодаря своей определенной универсальности, метод МН позволяет без существенных изменений в организации процесса осуществлять изготовление различных твердофазных материалов на одном и том же оборудовании, что является важным фактором при реализации малотоннажной технологии.

Оценивая ситуацию в России с точки зрения перспектив широкого внедрения метода МН в различные отрасли промышленности, включая малотоннажную химию, в сообщении рассмотрены научно – производственные основы, необходимые для решения поставленной задачи, а именно:

- результаты научных исследований, объем которых достаточен для понимания требований к технологии на принципах метода МН;

- полученные новые материалы с повышенными эксплуатационными характеристиками и востребованность их на рынке;

- результаты НИОКР/ТР и готовность их для передачи на предприятие реального сектора экономики с целью организации промышленного производства установок молекулярного наслаивания;

- наличие или организация отечественного промышленного выпуска комплектующих и реагентов для реализации процесса МН;

- создание производственных структур, обеспечивающих выпуск продукции молекулярного наслаивания по заявкам предприятий.

За более чем полувековой период сформулированы и экспериментально обоснованы принципы и технологические режимы формирования методом МН наноструктур (оксидные, нитридные, сульфидные и др. соединения элементов II–VII групп Периодической таблицы имени Д.И. Менделеева) заданного состава и строения на поверхности твердофазных матриц, различающихся химическим составом (оксиды, нитриды, карбиды, сульфиды, разнообразные формы углерода, металлы полимер-

ные пленки полиэтилена, поливинилхлорида, фторсодержащие и др.), геометрической формой (частицы, в том числе наноразмерные, пористые дисперсные материалы, волокна, пластины, готовые изделия) [3-5]. Масштабируемость процесса МН позволяет без дополнительных затрат создавать установки разной производительности.

С применением метода МН синтезирован широкий спектр неорганических, полимерных, гибридных, композиционных материалов различного функционального назначения, ряд из которых востребован в России и поставляется в качестве малотоннажной продукции на промышленные предприятия: модифицированные сорбенты ИВС-1, ФС-1-3 на АО «Раменский приборостроительный завод», шихта нанолегированная на АО «Светлана-Рентген» [3 – 4].

В рамках соглашения с ООО «Ботлихский радиозавод» (ООО «БРЗ») Первый всероссийский инжиниринговый центр технологии молекулярного наслаивания в СПбГТИ(ТУ) совместно с ООО «Инжиниринговый центр молекулярного наслаивания» завершает НИОКР/ТР по разработке и передаче на производство конструкторско-технологической документации для организации высокотехнологичного промышленного производства установок МН проточно-вакуумного типа для получения тонкопленочных диэлектрических алюминийоксидных нанопокровов на поверхности пластин монокристаллического кремния, титаноксидных функциональных слоев на стеклянных подложках, волокнах, баллонах рентгеновских трубок, на полимерных пленках для придания последним электретных характеристик и др. Изготовлены опытные образцы установок МН, проведены их приемочные испытания и соответствующая техническая документация передается на ООО «БРЗ».

Важнейшей задачей для обеспечения отечественного производства установок и продукции МН является наличие комплектующих и реагентов российского происхождения либо Союзного государства. Существенный вклад в обеспечение реагентами, используемыми в технологии МН, может внести малотоннажная химия, связанная с синтезом элементоорганических со-

единений. В настоящее время в России это ООО «Дисиком» (г. Нижний Новгород), совместно с которым АО «СКТБ Кольцова» (г. Санкт-Петербург) проводит работу по организации производства в Санкт-Петербурге наиболее востребованного сегодня триметилалюминия.

Одним из путей быстрой разработки и реализации заказов предприятий на продукты МН является использование потенциала малых предприятий и создаваемых в России инженеринговых центров.

Работы по организации отечественного производства установок МН поддерживаются Минобрнауки РФ (соглашение № 075–11–2021-037 от 24.06.2021 г.).

Литература

1. Российская газета – Спецвыпуск: Химия №242(7705).
2. Кольцов С.И., Алесковский В.Б. // Журн. физ. хим. – 1968. – Т. 42. – С. 1210-1214.
3. Соснов Е.А., Малков А.А., Малыгин А.А. // Журн. прикл. химии. – 2021. – Т.94, № 9. – С.1104 – 1137.
4. Малыгин А.А. // Наноматериалы: свойства и перспективные приложения / отв. ред. А.Б.Ярославцев. – М.: Научный мир. – 2015. – С. 84–113.
5. Малыгин А.А., Малков А.А., Соснов Е.А. // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2017. – № 11. – С.1939-1962.



**ТЕЗИСЫ
УСТНЫХ
ДОКЛАДОВ**



ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫЗОВОВ СОВРЕМЕННОСТИ

**Войтов И. В., Юсевич А. И., Дернович А. В.,
Марцуль В. Н.**

*Белорусский государственный технологический
университет, г Минск*

Фундаментальные и прикладные научные исследования в области химии служат основой современных химических технологий и обеспечивают развитие компаний – технологических лидеров. Именно они выступают основным заказчиком для университетов и научно-исследовательских организаций и обеспечивают привлечение инвестиций от потенциальных потребителей. Развитие химической промышленности и исследований в области химии становится определяющим фактором достижения успеха как в традиционных, так и во вновь возникающих отраслях.

Белорусский государственный технологический университет (БГТУ) осуществляет обеспечение высокотехнологичных отраслей экономики кадрами и является ведущим технологическим ВУЗом в Республике Беларусь в лесной, химической и полиграфической отраслях, а также крупным научным центром страны. В БГТУ создана достаточно хорошая инновационная структура, позволяющая выполнять на достойном уровне научные исследования и разработки.

Химическая промышленность – одна из ключевых отраслей экономики Беларуси, которая играет важную роль в индустриальном развитии страны. Однако, в условиях современных глобальных вызовов, таких как изменение климата, истощение природных ресурсов и строгие экологические требования, стало необходимо пересмотреть подходы к производству химической продукции и искать альтернативные источники сырья и топлива.

Учеными университета выработаны научно-практические подходы по использованию возобновляемых источников (био-

масса и отходы сельского хозяйства) в производстве биоэнергии и биологических материалов; разработаны технические условия на использование в качестве топлива отходов переработки солода и канифоли; разработаны технические условия на использование в качестве удобрения и смеси для рекультивации нарушенных земель осадков, содержащих избыточный активный ил очистных сооружений бумажной фабрики; изучено воздействие древесной золы, используемой в качестве удобрения, на окружающую среду; разработаны практические рекомендации по применению гальваношламов для производства керамзита и керамзитового гравия.

В стране существует значительный потенциал вовлечение в производственную сферу отходов лесопиления и деревопереработки и сельхозпредприятий. В настоящее время возникла проблемы с использованием щепы и появился избыток спелых мягко лиственных лесов подлежащей заготовке, так как в противном случае древесина теряет свои потребительские качества. Годовой объем заготовки древесины такого типа оценивается в 2–3 млн. м³.

Востребованными продуктами гидролизного производства являются: биоэтанол (этиловый спирт), фурфурол, кормовые дрожжи обогащения витаминами D и A, угольная кислота, лигнин. Биоэтанол (этанол) и фурфурол могут быть использованы в химической промышленности для получения широкого спектра ценных продуктов, в самых различных синтезах. Фурфурол в настоящее время получают исключительно методом гидролиза из растительного сырья.

На наш взгляд, решение проблемы состоит в создании производственного кластера для переработки древесных отходов и щепы, малоценных мягколиственных пород, тонкомера с рубок ухода и отходов сельхозпредприятий методом гидролиза. Это позволит значительно укрепить продовольственную безопасность страны и увеличить экспортный потенциал перерабатывающей промышленности.

БГТУ активно сотрудничает с ОАО «Светлогорский ЦКК» в области переработки талового масла. В настоящее время про-

веден анализ существующей технологии и режимов получения сырого таллового масла из сульфатного мыла на ОАО «Светлогорский ЦКК» и разработан оптимальный режим получения сырого таллового масла с максимальным выходом и качеством; разработаны практические рекомендации, направленные на повышение выхода и качественных показателей сырого таллового масла в условиях ОАО «Светлогорский ЦКК». Полученные продукты переработки таллового масла (жирные кислоты, талловая канифоль и талловый пек) имеют значительно более высокую добавочную стоимость по сравнению с сырым талловым маслом и могут быть либо экспортированы, либо модифицированы на химических предприятиях с целью получения импортозамещающих продуктов.

В рамках решения государственных задач по импортозамещению учеными университета разработаны аппретрующие добавки серии «Преамидин» на основе катионных ПАВ, которые применяются в ОАО «Полоцк-Стекловолокно» в качестве компонентов замасливателей при производстве стеклонити взамен дефицитного импортного реагента «Карбозолин».

Университет активно сотрудничает с ОАО «Могилевхимволокно» в области повышения стойкости полиэфирной нити к горению, которая находит широкое применение в химической, текстильной и других отраслях промышленности. Полученные промежуточные результаты позволят предприятию изготавливать продукцию с лучшими эксплуатационными показателями.

Эффективность переработки нефти сегодня во многом определяется степенью использования потенциала ее вакуумного остатка (гудрона) как сырьевого ресурса. Технологические трудности, возникающие при переработке гудрона в светлые нефтепродукты, обусловлены его высокой вязкостью и коксогенностью, являющимися следствием большой молекулярной массы и высокого отношения углерода к водороду в молекулах.

Кафедрой нефтегазопереработки и нефтехимии БГТУ совместно с лабораторией дисперсных систем Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси выполнен ряд экспериментов по очистке нефтяных коксов в реакторе электро-

термического кипящего слоя (ЭТКС). По результатам проведенных экспериментов установлена принципиальная возможность получения в ЭТКС высокочистых дисперсных углеграфитовых материалов из сырого нефтяного кокса УЗК с организацией непрерывного технологического процесса. Технология ЭТКС может быть использована также для организации производства порошков карбида кремния, тугоплавких карбидов и нитридов титана, вольфрама, циркония. В этом случае нефтяной кокс будет служить источником углерода и восстановителем в химических реакциях.

Кроме того, разработаны составы стабильных обратных микроэмульсий на основе дизельных и масляных фракций, содержащие водорастворимые соли молибдена или никеля, с диаметром капель дисперсной (водной) фазы не более 200 нм. При быстром нагреве до 250°C микроэмульсии разлагаются с формированием оптически прозрачных коллоидных дисперсий оксидов металлов в углеводородной среде, устойчивых к образованию осадков в течение нескольких суток.

БГТУ в настоящее время активно занимается внедрением в Республике Беларусь энергетических накопителей на базе литий-ионных аккумуляторов. Реализация этого проекта позволит оптимизировать энергопотребление предприятий республики и эффективно интегрировать возобновляемые источники энергии в Объединенную энергетическую систему, увеличит надежность и безопасность работы Белорусской АЭС и устойчивость энергосистемы в целом.



ТЕПЛОВЫЕ ТРУБЫ ДЛЯ СИСТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

**Васильев Л. Л., Журавлев А. С., Кузьмич М. А.,
Артюх А. А., Садченко Д. И.**

*Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова
НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь*

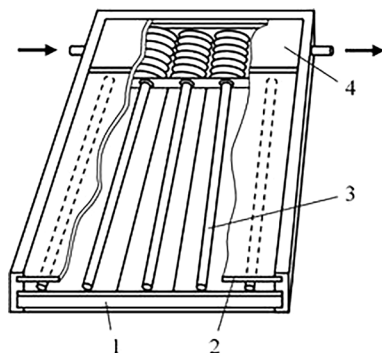
Эффективное использование энергии является важнейшей проблемой современности. Расширяется применение возобновляемых источников тепла (солнечное излучение, воздух, грунт, водные бассейны, сточные воды), при этом решаются экономические проблемы и улучшается экологическая обстановка. Использование энергосберегающих технологий осуществляется с помощью специального оборудования, в том числе на базе тепловых труб (ТТ) и термосифонов (ТС) – устройств с испарительно-конденсационным циклом и передачей тепла потоком пара из испарителя в конденсатор в виде скрытой теплоты парообразования. Тепловые трубы обладают эффективной теплопроводностью до $5000 \div 10000 \text{ Вт/(К}\cdot\text{м)}$, что многократно выше, чем у самых высокотеплопроводных материалов. Они просты в эксплуатации, не требуют дополнительных затрат энергии, технического обслуживания и успешно применяются в оборудовании для энергетики, жилищно-коммунального сектора, строительной индустрии, пищевой промышленности и других отраслей.

Одним из основных возобновляемых источников энергии является солнечное излучение, оно используется при прямом преобразовании в электричество, а также для подогрева воды в системах горячего водоснабжения, обогрева помещений пониженных температурах и получения холода летом.

Основным элементом гелиоустановки является солнечный коллектор, его конструкция в значительной степени определяет эффективность и стоимость всей системы. Плоский коллек-

тор позволяет использовать прямую и рассеянную солнечную радиацию без необходимости слежения за Солнцем. В качестве теплоприемных и теплопередающих элементов солнечных коллекторов могут применяться тепловые трубы, обеспечивающие равномерность температуры по длине приемного элемента и снижение тепловых потерь. Коллекторы на тепловых трубах (рис.) обладают следующими достоинствами: поддерживается равномерность температуры по всей длине теплоприемника, что снижает потери тепла; обеспечивается высокая надежность устройства, поскольку при выходе из строя отдельных элементов передача энергии уменьшается, но не прекращается; предотвращается сброс тепла из системы при недостатке солнечного излучения из-за отсутствия теплопередачи наклонными тепловыми трубами в направлении против сил гравитации; осуществляется быстрый запуск системы ввиду низкой теплоемкости конструкции.

Термосифон – вид ТТ, отличающийся отсутствием транспортного пористого фитиля. Обычные гладкостенные ТС функционируют только при расположении испарителя ниже конденсатора и чувствительны к отклонениям от вертикали. Однако созданные в Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси кольцевые и пародинамические ТС способны



Плоский коллектор солнечной энергии с тепловыми трубами:
 1 – теплоизоляция, 2 – стеклянное покрытие, 3 – тепловые трубы,
 4 – жидкостный теплообменник

передавать тепловой поток и в горизонтальном направлении. Пародинамические термосифоны можно использовать в оборудовании для нагрева и охлаждения воздуха, предотвращения образования льда и снежного покрова на крышах зданий, тротуарах, стоянках автомобилей. Такие устройства с паровой камерой в качестве подложки к PV и PVT-панелям способны интенсивно отводить от них тепло, обеспечивая изотермичность поверхности, создавая оптимальные условия для эффективной работы фотопреобразователей.

Испарители ПДТ могут быть объемными либо протяженными. Устройства с протяженным испарителем целесообразно применять с рассредоточенными источниками тепла – например, их удобно монтировать для организации теплообмена в адсорберах теплового насоса (ТН) или холодильника на твердых сорбентах с приводом от альтернативных источников энергии. Солнечные адсорбционные холодильники могут быть востребованы в сельском хозяйстве (охлаждение молока на молочных фермах), жилищно-коммунальном секторе (системы кондиционирования в летнее время). Теплообменники на ТТ и ТС позволяют поддерживать интенсивный теплообмен между входящим и выходящим потоками воздуха, а охладитель сорбционного ТН конденсирует пары воды в потоке воздуха, контролируя таким образом его влажность на выходе системы кондиционирования.

В Институте тепло- и массообмена имени А.В.Лыкова НАН Беларуси накоплен большой опыт создания и исследований тепловых труб и термосифонов разнообразных конструкций для работы в различных температурных условиях, имеются разработки оборудования на основе таких устройств, позволяющего полезно использовать энергию возобновляемых источников для технических и бытовых нужд [1, 2]. Разработаны длиномерные (несколько десятков метров) вертикально располагаемые в земле тепловые трубы и термосифоны, способные извлекать и передавать тепло с минимальными потерями. Вертикально погруженные в грунт тепловые трубы передают тепло испарителям тепловых насосов, а горизонтально расположенные принимают тепло от конденсаторов тепловых насосов и обогревают воздух

в помещении. Может быть организовано теплоснабжение индивидуального жилого дома, коттеджа: тепло, извлеченное из грунта с помощью тепловых труб, служит для обогрева помещения и удовлетворения потребности в горячей воде для бытовых нужд.

Теплообменники на тепловых трубах и термосифонах позволяют эффективно утилизировать тепло возобновляемых источников энергии (солнце, грунт), а также безвозвратно теряемое при использовании различных технологических процессов, при этом уменьшается количество вредных выбросов, снижается негативное воздействие на окружающую среду.

Литература

1. Vasiliev L.L. Long horizontal vapordynamic thermosyphons for renewable energy sources / L.L.Vasiliev, L.L.Vassiliev Jr., M.I.Rabetsky [et al.] // Heat Transfer Engineering. – 2019. – Vol. 40, Issue 3–4. – P. 258–266.

2. Васильев Л.Л. Термосифоны и тепловые трубы в системах для использования низкопотенциального тепла / Л.Л.Васильев [и др.] // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П.О.Сухого. 2019. № 2. – С. 34–40.

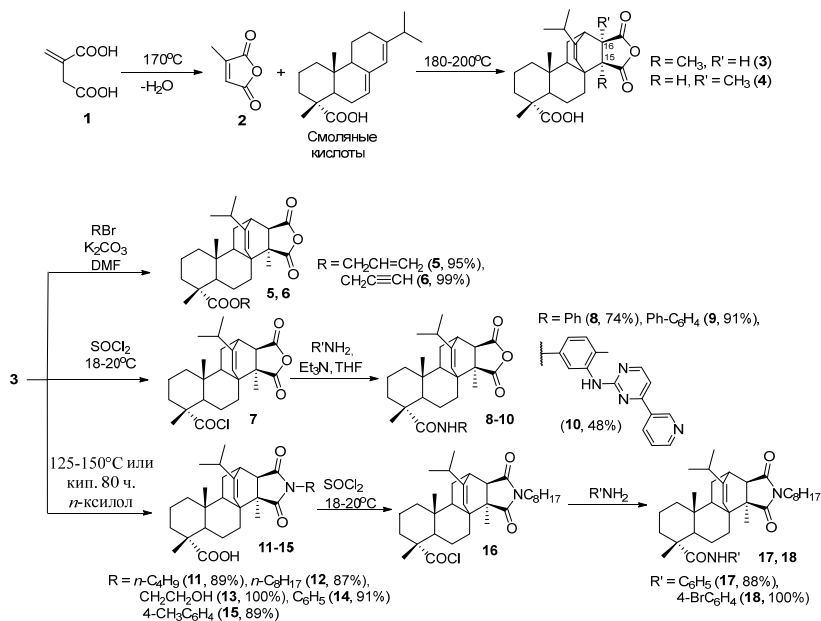


ЦИТРАКОНОПИМАРОВАЯ КИСЛОТА: ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА

Бей М. П., Ювченко А. П.

*Институт химии новых материалов НАН Беларуси,
г. Минск E-mail: bey@ichnm.by*

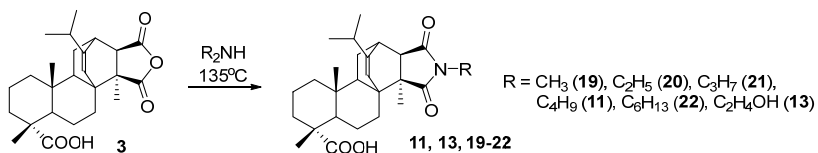
Нами разработаны методы получения цитраконопимаровой кислоты (структурного аналога малеопимаровой кислоты, выделяемой из аддукта канифоли и малеинового ангидрида), заключающиеся в реакции промышленно доступной итаконовой кислоты **1** через стадию образования *in situ* цитраконового ангидрида **2** со смоляными кислотами канифоли или непосредственно реакцией цитраконового ангидрида **2** с канифолью, в том числе, в присутствии каталитических добавок. В реакционных аддуктах содержится до 70 % цитраконопимаровой кислоты в виде двух изомеров **3**, **4**, при этом разработана методика выделения изомера C¹⁵-CH₃ **3** в индивидуальном виде [1].



Впервые синтезирован ряд кислород- и азотсодержащих производных цитраконопимаровой кислоты: аллиловый и пропаргиловый эфиры **5**, **6**, хлорангидрид **7** и на его основе фенол-, бифениламины **8**, **9**, гетероциклический амид **10**, алифатические и ароматические имиды **11–15**, имидоамиды **17**, **18** [1, 2].

Следует отметить, что образование ароматических имидов цитраконопимаровой кислоты **14**, **15** протекает значительно медленнее (кипячение в толуоле в течение 80 ч) по сравнению с аналогичными ароматическими имидами малеопимаровой кислоты (6–8 ч). По нашему мнению, различие в реакционной способности цитраконопимаровой и малеопимаровой кислот связано с частичной дезактивацией ангидридного цикла цитраконопимаровой кислоты вследствие стерического влияния C^{15} - CH_3 группы.

Было установлено, что реакция цитраконопимаровой кислоты **3** с вторичными алифатическими аминами при $135^\circ C$ вместо ожидаемых продуктов раскрытия ангидридного цикла дает циклические N-алкилимиды цитраконопимаровой кислоты; в результате данного превращения получены N-метил-, этил-, пропил-, бутил-, гексил-, 2-гидроксиэтилимиды цитраконопимаровой кислоты [3].



Методом дериватографии определено различие в термической устойчивости цитраконопимаровой и малеопимаровой кислот. Цитраконопимаровая кислота **3** начинает разлагаться с заметной скоростью при температуре $250^\circ C$, малеопимаровая кислота – при $285^\circ C$. Замена ангидридной группы в цитраконопимаровой кислоте на имидную, как и в случае малеопимаровой кислоты [12] приводит к повышению термической устойчивости N-октилимиды цитраконопимаровой кислоты **12** на $40^\circ C$ (температура разложения начальная – $290^\circ C$).

Разработан метод синтеза алифатических имидов (в виде технических продуктов) канифольноцитраконового аддукта (КЦА) на основе октиламина, октадециламина взаимодействием КЦА и первичных алифатических аминов. Технические продукты представляют собой смесь N-замещенных имидов изомерных цитраконопимаровых кислот (~70 %) и не вступивших в реакцию смоляных кислот канифоли (дегидроабетиновой, пимаровой, изопимаровой).

Совместно с БГТУ исследовано влияние октил- и октадецилимидов канифольноцитраконового аддукта (в виде технических продуктов) в качестве модификаторов ненаполненных и наполненных производственных резиновых смесей и установлено, что изученные добавки улучшают технологические свойства композиций с сохранением, а в ряде случаев улучшением физико-механических показателей. Наиболее эффективным и многофункциональным модификатором является добавка октилимида канифольноцитраконового аддукта (ОКЦА). Получены наполненные резиновые смеси на основе комбинации синтетических каучуков – полиизопренового и полибутадиенового (СКИ-3, СКД) с частичной заменой промышленного пластификатора на ОКЦА. Установлено, что введение модификатора ОКЦА в резиновые смеси позволяет повысить их износостойкость (сопротивление к истиранию на 14 %) и стойкость к тепловому старению (более чем на 10 %), а также уменьшить относительную остаточную деформацию сжатия более чем в 2.5 раза по сравнению с исходными резиновыми смесями без терпеноидных добавок [4, 5].

Литература

1. Бей М.П., Пучкова Н.В., Ювченко А.П., Барановский А.В. // Весці НАН Беларусі, сер.хім.н. – 2018. – Т. 54, № 4. – С. 434-441.
2. Бей М.П., Ювченко А.П. // Весці НАН Беларусі, сер.хім.н. – 2023. – Т. 59, № 1. – С. 35-41.
3. Bei M.P., Yuvchenko A.P. / Chapter 3. – P. 47–74 // Chemistry and Technology of Plant Substances. – Toronto, New Jersey: Apple Academic Press. – 2017. – 357 p.
4. Прокопчук Н.Р., Вишневыскі К.В., Крутько Э.Т., Прокопович Я.М., Бей М.П., Ювченко А.П. Резиновая смесь: патент РБ № 23018 (2020).
5. Прокопчук Н.Р., Вишневыскі К.В., Крутько Э.Т., Бей М.П., Ювченко А.П., Пекарский Н.С. // Полимерные материалы и технологии. – 2018. – Т. 4, № 3. – С. 66-71.



НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ЦИКЛ – АЛЬТЕРНАТИВА ТОПЛИВУ ПРИ ВЫРАБОТКЕ ЭНЕРГИИ

Касаткин Н. П.

Беларусь, г. Минск

Глобальное потепление и загрязнение окружающей среды представляют собой угрозу, которую необходимо устранить. Сжигание топлива для выработки энергии должно уменьшиться, а затем и полностью остановиться. Начало использования энергии ветра и солнца показывает актуальность поиска более удобного и мощного машинного способа преобразования тепловой энергии окружающей среды, ресурсом которой может стать глобальное потепление.

На прошлой конференции «АИСТ-2021» автором был сделан доклад об изобретении такого способа в виде низкотемпературного цикла преобразования при циркуляции холодного рабочего тела с изменением сухости влажного пара в контуре «теплообменник – паровой двигатель».

Дальнейшие изыскания были проведены в направлении создания первой демонстрационной энергетической установки.

Теоретически обоснована реальность создания такой установки, в которой паровой двигатель изготавливается из серийного ДВС типа ВАЗ-2110. Показана возможность выработки энергии с мощностью 20 кВт при частоте вращения коленчатого вала 1500 мин⁻¹.

Создание на практике такой установки покажет, насколько возможно форсирование скоростного режима и съем большей мощности. Будет заложен фундамент практических знаний для разработки всей необходимой линейки подобных устройств.



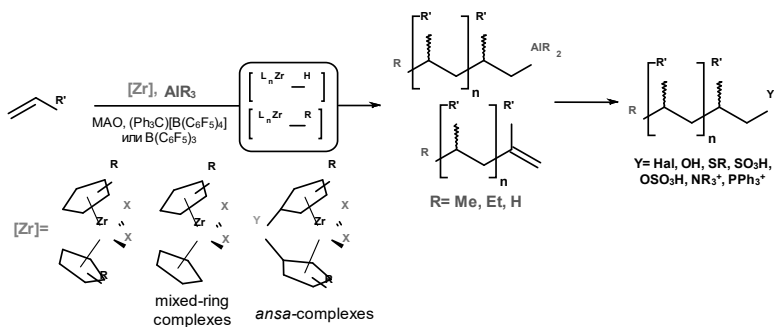
ГОМОГЕННЫЕ КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ЦИРКОНОЦЕНОВ В СИНТЕЗЕ ДИМЕРОВ И ОЛИГОМЕРОВ АЛКЕНОВ

Парфенова Л. В.

*Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН,
г. Уфа, Россия*

Повышенный интерес к разработке каталитических систем для синтеза димеров и олигомеров алкенов обусловлен высокой востребованностью данных продуктов в промышленности и в лабораторной практике [1-3]. Среди известных методов олигомеризации алкенов металлоценовый катализ обладает высоким потенциалом к развитию и внедрению благодаря возможности эффективного регулирования хемо-, регио- и стереоселективности реакций. Кроме того, использование гомогенных металлоценовых катализаторов позволяет изучать механизмы процессов, современные модели которых предполагают участие биметаллических структур каталитически активных центров, образованных взаимодействием между комплексами переходных металлов и сокатализаторами, а также учета особенностей динамики лигандов в составе интермедиатов [4].

В докладе представлены результаты по созданию новых каталитических систем на основе цирконоценов для синтеза димеров и олигомеров терминальных алкенов, а также экспериментальному и теоретическому исследованию интермедиатов и их



роли в изучаемых реакциях. Разработаны каталитические системы L_2ZrCl_2 -алюминийорганическое соединение (АОС: $HAiBu^i_2$, $AlMe_3$, $AlEt_3$, $AlBu^i_3$)-активатор (ММАО-12, $(Ph_3C)[B(C_6F_5)_4]$ или $B(C_6F_5)_3$) и $[Cp_2ZrH_2]_2-ClAlR_2$ ($R=Me, Et, Bu^i$)-активатор для хемо- и региоселективного синтеза димеров и олигомеров алкенов [5-8]. С помощью спектроскопии ЯМР показано образование Zr, Zr - и Zr, Al -гидридных интермедиатов в системах L_2ZrCl_2 -АОС-активатор. Впервые экспериментально доказано, что направления димеризации и олигомеризации алкенов реализуются при участии различных по структуре активных центров. Разработан метод одnoreакторного диастереоселективного и энантиоселективного синтеза функционально замещенных олигомеров линейных алкенов [9]. Представленная стратегия может быть в дальнейшем использована для синтеза широкого спектра хиральных стереорегулярных молекул – структурных блоков, необходимых для получения биологически активных соединений и новых материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 22-23-00818.

Литература

1. Janiak C. // *Coord. Chem. Rev.* – 2006. – V. 250, № 1. – P. 66-94.
2. Nicholas C. P. // *Applied Catalysis A: General.* – 2017. – V. 543. – P. 82-97.
3. Nifant'ev I., Ivchenko P., Tavtorkin A., Vinogradov A., Vinogradov A. // *Pure and Applied Chemistry.* – 2017. – V. 89, № 8. – P.1017-1032.
4. Parfenova L.V., Kovyazin P.V., Tyumkina T.V., Khalilov L.M., Dzhemilev U.M. In “Alkenes”, Dr. Reza Davarnejad (Ed.), InTech, – 2018. – P. 43-64.
5. Parfenova L.V., Kovyazin P.V., Bikmeeva A.Kh. // *Molecules.* – 2020. – V.25. – P. 2216.
6. Parfenova L.V., Kovyazin P.V., Bikmeeva A.Kh., Palatov E.R. // *Catalysts.* – 2021. – V.11. – P.39.
7. Kovyazin P.V., Bikmeeva A.Kh., Islamov D.N., Yanybin V.M., Tyumkina T.V. Parfenova L.V. // *Molecules.* – 2021. – V.26 (9). – P. 2775.
8. Parfenova L.V., Kovyazin P.V., Bikmeeva A.K., Palatov E.R., Ivchenko P.V., Nifant'ev I.E., Khalilov L.M. // *Molecules.* – 2023. – V.28. – P. 2420.
9. Kovyazin P.V., Abdullin I.N., Parfenova L.V. // *Cat. Commun.* – 2019. – V.119. – P. 144.

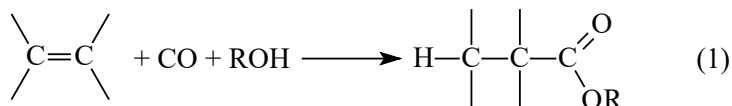


АЛКОКСИКАРБОНИЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СО И НЕНАСЫЩЕННЫХ СУБСТРАТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Севостьянова Н. Т.

*Тульский государственный педагогический
университет им. Л. Н. Толстого, г. Тула, Россия*

Синтез сложных эфиров алкоксикарбонилированием ненасыщенных субстратов растительного происхождения (реакция (1)) открывает возможность перехода на альтернативные сырьевые источники и позволяет решить целый ряд проблем, стоящих перед химической промышленностью: ресурсосбережения, минимизации отходов и повышения экологической безопасности и экономичности реализуемых процессов.



В качестве карбонилирующего агента используется СО, выделяемый из синтез-газа. В свою очередь, синтез-газ может быть получен из отходов биомассы – возобновляемого сырьевого источника, а также каменного угля, запасы которого существенно превосходят запасы нефти и природного газа.

Гомогенные каталитические системы алкоксикарбонилирования ненасыщенных соединений, как правило, включают каталитический предшественник (например, PdCl₂, Pd(OAc)₂ или комплексы палладия с органофосфиновыми лигандами), свободный органофосфиновый промотор и сильную протонную кислоту. На данный момент в промышленности реализуется производство метилметакрилата, включающее как одну из стадий метоксикарбонилирование этилена, катализируемое системой Pd₂(dba)₃ – 1,2-dtbpx – CH₃SO₃H (дифосфин 1,2-dtbpx представлен на Рисунке) [1].

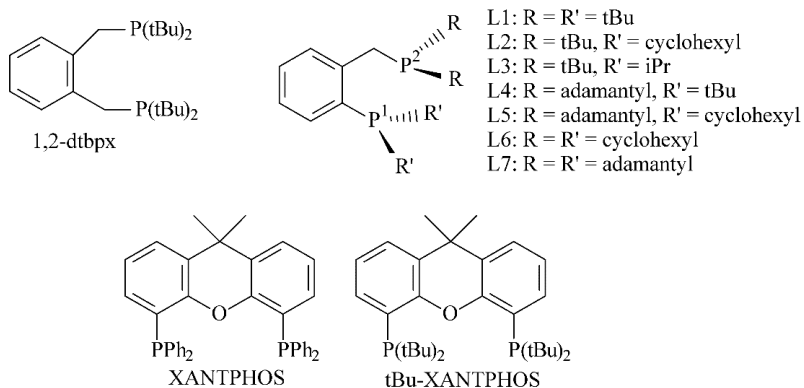
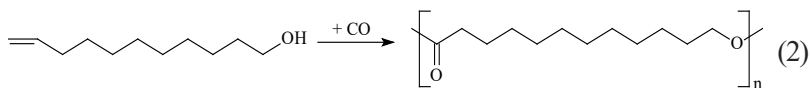


Рисунок. Дифосфиновые промоторы, проявляющие высокую активность и селективность в алкоксихарбонилировании ненасыщенных соединений

В представленной работе проведена систематизация и анализ литературных данных, опубликованных с 2010 г., в области синтеза сложных эфиров алкоксихарбонилированием субстратов растительного происхождения в мягких условиях. Установлено, что растительное сырье может рассматриваться как перспективный возобновляемый источник ненасыщенных субстратов C₅-C₂₂ линейного и разветвленного строения [2]. Алкоксихарбонилирование этих субстратов, осуществляемое в мягких условиях при использовании СО как карбонилирующего агента, является атомноэкономичным способом получения сложноэфирных продуктов, осложняющимся в основном образованием изомерных соединений. Полученные в результате сложные эфиры могут использоваться в синтезе полимеров и других востребованных продуктов и полупродуктов. За указанный период осуществлено алкоксихарбонилирование пентеновых и ундеценовых кислот, олеиновой, линолевой и эруковой кислот или их сложных эфиров и терпеновых соединений – цитронелловой кислоты и β-мирцена. Высокие выходы и селективности по продуктам линейного строения обеспечивались в мягких условиях, главным образом, применением гомогенных палладий-дифосфиновых катализаторов. В частности, было осуществлено одно-

стадийное алкоксикарбонилирование-полимеризация 10-ундеценола-1 (реакция 2).

10-Ундеценол-1 может быть синтезирован путем каталитического крекинга и гидрирования из сложных эфиров 12-гидроксиолеиновой кислоты, получаемой из касторового масла. В реакции (2) использовались каталитические системы на основе $\text{Pd}(\text{OAc})_2$, $\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$ с различными дифосфинами [3].



Значительные успехи в алкоксикарбонилировании ненасыщенных соединений с интернальной связью $\text{C}=\text{C}$ были достигнуты благодаря изомеризирующему алкоксикарбонилированию, которое включает стадию миграции исходной кратной связи в терминальное положение и последующее алкоксикарбонилирование с образованием преимущественно линейных сложных эфиров. Каталитическую активность в изомеризирующем алкоксикарбонилировании проявляют палладиевые каталитические системы главным образом с *трет*-бутил-замещенными дифосфинами или дифосфинами группы XANTPHOS (Рисунок). Для реакций алкоксикарбонилирования алкеновых субстратов при катализе палладиевыми системами, содержащими сильную протонную кислоту, был доказан гидридный механизм [4, 5].

Достигнутые результаты рассмотренных работ открывают широкие перспективы реализации новых для промышленности процессов алкоксикарбонилирования субстратов растительного происхождения для получения актуальных химических продуктов, прежде всего полимеров. Наибольшие скорости реакции были достигнуты в метоксикарбонилировании коротких линейных молекул, полная конверсия которых могла быть получена всего за один час при температуре 50 ± 100 °С и давлении CO 2,0 МПа.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-23-00102, <https://rscf.ru/project/22-23-00102/>.

Литература

1. De la Fuente V., Waugh M., Eastham G.R., Iggo J.A., Castellón S., Claver C. // *Chem. Eur. J.* – 2010. – V. 16, Iss. 23. – P. 6919–6932.
2. Севостьянова Н.Т., Баташев С.А. // *Катализ в промышленности.* – 2023. – Т. 23, №1. – С. 37–55.
3. Liu Y., Mecking S. // *Ang. Chem. Int. Ed.* – 2019. – V. 58, N 11. – P. 3346–3350.
4. Pongrácz P., Abu Seni A., Mika L.T., Kollár L. // *Mol. Catal.* – 2017. – V. 438. – P. 15–18.
5. Vavasori A., Toniolo L., Cavinato G. // *J. Mol. Catal. A: Chem.*–2003. – V. 191, Iss. 1.–P. 9–21.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОЛИЗНЫХ МАСЕЛ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА И ПОЛИПРОПИЛЕНА

**Крестьянинова В. С.^{a,b)}, Сайко А. В.^{a,b)},
Пчельникова Т. Г.^{b)}, Долгушев П. А.^{a)},
Климов О. В.^{a)}**

*a) Институт катализа им Г. К. Борескова СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

*b) Новосибирский институт органической химии
им. Н. Н. Ворожцова СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

Пластмассы или пластики – органические материалы, основу которых образуют синтетические или природные высокомолекулярные соединения – полимеры, состоящие из мономерных звеньев, соединенных в длинные макромолекулы химическими или координационными связями. Именно синтетические полимеры лидируют по производству, распространению и потреблению, а также становятся одной из глобальных проблем современности, поскольку интенсивно загрязняют, окружающую среду.

Пластмассы используются во многих областях повседневной жизни. Большую часть пластмасс получают за счет использования не возобновляемых нефтяных ресурсов. Острая необходимость доступа к новым технологиям переработки и повторного использования пластмасс очевидна, учитывая их происхождение и пагубное влияние на окружающую среду [1].

Одним из основных методов химической переработки пластиковых отходов является термолиз. Термолиз – реакция химического разложения, возникающая при термической обработке в отсутствие воздуха (кислорода). Дegradaция пластика достигается в результате нагревания при высокой температуре (500÷800°C), при этом макромолекулы распадаются на более мелкие фрагменты, состоящие из ценных смесей углеводородов (в виде газа, жидкости и твердого вещества) [2].

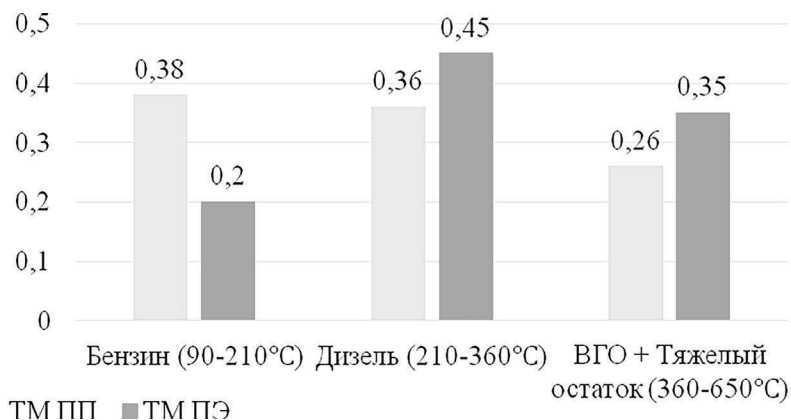
Основным продуктом термоллиза пластиковых отходов является термолизное масло (ТМ). Углеводородный состав ТМ напрямую зависит от полимеров, входящих в состав твердых бытовых отходов. Ранее в нашей работе [3] была изучена принципиальная возможность внедрения ТМ в виде нетрадиционного источника нефтепродуктов. В частности, было показано, что ТМ из смесового сырья может выступать в виде альтернативы вакуумному газойлю. Однако, ввиду неоднородности состава пластиковых отходов, невозможно: во-первых, всегда получать термолизное масло с одинаковыми характеристиками, во-вторых, предсказать его свойства. Поэтому детальное изучение превращений индивидуальных полимеров в процессе термоллиза и изучение свойств термолизных масел из индивидуальных пластиков является актуальной задачей на пути переработки пластиковых отходов и внедрения продуктов в процессы классической нефтепереработки.

Целью данной работы является определение физико-химических характеристик термолизных масел, полученных из полиэтилена (ПЭ) и полипропилена (ПП).

Для детального изучения состава и физико-химических свойств ТМ определяли ряд параметров: фракционный состав, содержание ароматических соединений, плотность, вязкость, элементный состав, углеводородный состав методами ГХ-ГХ и ГХ-МС. Перечисленные выше параметры позволяют не только изучить превращения полимеров в ходе термоллиза, а также охарактеризовать полученные масла с позиции нефтепродукта.

Результаты анализа углеводородного состава ТМ из ПЭ

Класс углеводородов	Содержание в ТМ, % масс
н-алканы	43,58
Циклоалканы	11,46
Моноароматические соединения	2,37
Изоалканы	5,63
Алкены	26,74
Алкадиены	10,21



Фракционный состав термолитических масел из ПП и ПЭ

По результатам определения углеводородного состава методом двумерной газовой хроматографии, представленным в Таблице, в ТМ, полученном из ПЭ, преобладают такие классы, как n-алканы и алкены. В ТМ из ПП были обнаружены только изоалканы.

Из фракционного состава ТМ видно, что доля светлых фракций в масле из ПП выше, нежели в масле из ПЭ, появляется возможность использования масла из ПП в качестве альтернативного источника бензиновой фракции.

По всем результатам анализов можно сделать суммарный вывод о том, что деструкция полиэтилена и полипропилена происходит по механизму статического разрыва связей макроцепи, при этом по свободнорадикальному механизму образуются более короткие цепочки углеводородов. Исходя из свойств термолитических масел из ПЭ и ПП их можно внедрять в процессы нефтепереработки либо в качестве альтернативы нефтепродуктам, либо в виде добавки к традиционному сырью.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 22-13-20013) и Новосибирской области (соглашение № р-5 от 06.04.2022).

Литература

1. Gestoso I. Plasticrusts: A new potential threat in the Anthropocene's rocky shores/ E. Cacabelos, P. Ramalhosa// *Sci Total Environ* – 2019 Vol. 687 – P.413.
2. Ковалева Н.Ю. Пиролиз пластиковых отходов. Обзор // *Химическая безопасность*, 2020, 4, (1), 48-79.
3. Климов О.В. Изучение свойств продуктов гидроконверсии термализного масла, получаемого из отходов смесевых пластиков / Надеина К.А., Сайко А.В., Крестьянинова В.С. // *Экология и промышленность России*, 2023, Т. 27, № 2, 15-21.



ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДОПИРОВАНИЯ ИОНАМИ Fe^{3+} АДСОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ Li_2TiO_3 И $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$

**Иванец А. И., Бичева Е. С., Прозорович В. Г.,
Кузнецова Т. Ф.**

*Институт общей и неорганической химии
НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь*

Введение. Непрерывный рост спроса на литий обуславливает актуальность поиска новых способов его получения из природных источников. Природные рассолы и техногенные отходы переработки литий-ионных батарей имеют высокое содержание ионов Li^+ , что делает перспективным извлечение лития методом адсорбции [1]. Металлооксидные адсорбенты Li_2TiO_3 и $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ привлекают большое внимание вследствие высокой адсорбционной емкости относительно ионов Li^+ (до 78 мг/г), а также химической стабильности и доступности [2]. С особенностями кристаллохимического строения данных оксидов связаны диффузионные затруднения и медленная кинетика адсорбции-десорбции ионов лития. Для решения данной проблемы эффективным способом является модификация адсорбентов Li_2TiO_3 и $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ионами Fe^{3+} .

В кубической структуре $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ионы Li^+ занимают все тетраэдрические позиции 8a и 1/6 часть октаэдрических позиций 16d, тогда как ионы Ti^{4+} занимают остальные 16d-позиции. В моноклинной кристаллической структуре Li_2TiO_3 октаэдрические участки между слоями TiO_6 содержат 2/3 ионов лития, в то время как остальные ионы лития расположены внутри слоев октаэдров TiO_6 . При введении в структуру ионов Fe^{3+} происходит изменение кристаллической структуры данных оксидов, что оказывает влияние на адсорбцию ионов Li^+ [3].

Цель работы – установление закономерностей допирования ионами Fe^{3+} адсорбентов на основе оксидов Li_2TiO_3 и $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$.

Экспериментальная часть. Синтез допированных ионами Fe^{3+} образцов $\text{Li}_{2-2x}\text{Fe}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ ($x = 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,35$) и $\text{Li}_{1,33-x}\text{Ti}_{1,67-2x}\text{O}_4\text{Fe}_{3x}$ ($x = 0,1; 0,3; 0,6; 0,8; 0,9$) осуществляли твердофазным методом с использованием в качестве прекурсоров Li_2CO_3 , TiO_2 (анатаз) и Fe_2O_3 с последующей термообработкой при 800°C в электропечи В180 (Nabertherm, Германия).

Физико-химические свойства образцов исследовали методами рентгенофазового анализа (Advanced D8 Bruker, Германия), ИК-спектроскопии (Tensor-27 Bruker Optik GmbH, Германия). Адсорбционные и текстурные свойства допированных $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ и Li_2TiO_3 оксидов изучали методом низкотемпературной адсорбции-десорбции азота на анализаторе поверхности и пористости ASAP 2020 MP (Micromeritics, США).

Результаты и их обсуждение. Методом рентгенофазового анализа установлено, что образцы, допированные ионами Fe^{3+} в диапазоне $0,1 \leq x \leq 0,6$ для $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ и $0,05 \leq x \leq 0,2$ для Li_2TiO_3 , представлены только кристаллическими фазами данных оксидов. С увеличением степени допирования ионами Fe^{3+} в кубической структуре $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ замещаются сначала атомы Ti в позициях 16d, далее атомы Li, находящиеся в позициях 8a. Для моноклинной структуры Li_2TiO_3 происходит сдвиг основных характеристических рефлексов в область больших значений 2θ . При этом для Fe-допированных образцов $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ наблюдается закономерное увеличение параметра a от 8,389 до 8,522 Å, что обусловлено большим ионным радиусом Fe^{3+} (0,063 нм) по сравнению с Ti^{4+} (0,042 нм). Размеры элементарной ячейки образца Li_2TiO_3 находятся в диапазоне от 5,027 до 5,038 Å, что свидетельствует о получении многофазных продуктов с увеличением степени замещения ионами Fe^{3+} . Объем ячейки допированных оксидов $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ незначительно изменяется в зависимости от степени допирования x – от 569,7 ($x=0,1$) до 612,4 Å³ ($x=0,9$). Для образца Li_2TiO_3 минимальный объем ячейки V составляет 127,0 ($x=0,05$), а максимальный – 129,1 Å³ ($x=0,035$).

На ИК-спектрах образцов $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ и Li_2TiO_3 присутствуют интенсивные полосы поглощения при 472 и 648 см⁻¹, которые относятся к валентным колебаниям связей Li-O и Ti-O. При уве-

личении степени допирования до $x = 0,3$ для $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ и $x = 0,2$ для Li_2TiO_3 на спектрах отсутствуют новые полосы поглощения и наблюдается сдвиг характеристического пика связи Ti-O, что обусловлено гетеровалентным замещением атомов Ti на Fe. Увеличение степени допирования приводит к появлению полос поглощения при 447, 581, 626 см^{-1} и 453, 584, 641 см^{-1} , характерных для валентных колебаний связи Fe-O в оксиде Fe_2O_3 , примесь которого детектируется на рентгенограммах.

Параметры кристаллической структуры допированных ионами Fe^{3+} оксидов $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ и Li_2TiO_3

Параметры кристаллической структуры							
Образец	$d, \text{нм}$	$a, \text{Å}$	$V, \text{Å}^3$	Образец	$d, \text{нм}$	$a, \text{Å}$	$V, \text{Å}^3$
$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (исходный)	26,6	8,389	568,3	Li_2TiO_3 (исходный)	26,8	5,027	127,0
$\text{Li}_{1,23}\text{Ti}_{1,47}\text{O}_4\text{Fe}_{0,3}$ ($x=0,1$)	26,7	8,391	569,7	$\text{Li}_{1,9}\text{Fe}_{0,05}\text{Ti}_{0,95}\text{O}_3$ ($x=0,05$)	26,8	5,031	129,1
$\text{Li}_{1,03}\text{Ti}_{1,07}\text{O}_4\text{Fe}_{0,9}$ ($x=0,3$)	26,7	8,401	575,1	$\text{Li}_{1,8}\text{Fe}_{0,1}\text{Ti}_{0,9}\text{O}_3$ ($x=0,1$)	26,9	5,033	130,8
$\text{Li}_{0,73}\text{Ti}_{0,47}\text{O}_4\text{Fe}_{1,8}$ ($x=0,6$)	26,9	8,408	578,7	$\text{Li}_{1,6}\text{Fe}_{0,2}\text{Ti}_{0,8}\text{O}_3$ ($x=0,2$)	27,1	5,035	133,9
$\text{Li}_{0,53}\text{Ti}_{0,07}\text{O}_4\text{Fe}_{2,4}$ ($x=0,8$)	27,1	8,412	582,4	$\text{Li}_{1,4}\text{Fe}_{0,3}\text{Ti}_{0,7}\text{O}_3$ ($x=0,3$)	27,5	5,036	134,5
$\text{Li}_{0,43}\text{TiO}_4\text{Fe}_{2,7}$ ($x=0,9$)	28,9	8,522	612,4	$\text{Li}_{1,3}\text{Fe}_{0,35}\text{Ti}_{0,65}\text{O}_3$ ($x=0,35$)	27,7	5,038	134,9

Полученные образцы имеют характеристики мезопористой текстуры, изотермы необратимы, относятся к псевдотипу II и обладают петлями капиллярно-конденсационного гистерезиса типа НЗ. Удельная поверхность и объем мезопор полученных образцов с ростом количества введенного допанта несколько увеличиваются, для $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ от 5 до 11 $\text{м}^2/\text{г}$, для Li_2TiO_3 от 8 до 15 $\text{м}^2/\text{г}$ соответственно. С увеличением количества вводимого иона Fe^{3+} в диапазоне $0,6 \leq x \leq 0,8$ в структуру $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ объем мезопор немного возрастает от 0,01 до 0,04 $\text{см}^3/\text{г}$, в то время как при введении данного иона для образцов Li_2TiO_3 объем практически не меняется и остается равным $\approx 0,01 \text{ см}^3/\text{г}$.

Выводы. Установлено, что с увеличением степени допирования до $x \leq 0,9$ для образца $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ происходит встраивание иона Fe^{3+} в позиции 16d и 8a. Для Fe-допированных образцов Li_2TiO_3 при $x \leq 0,35$ также сохраняется моноклинная структура и происходит смещение дифракционных пиков в область более высоких углов 2θ . Показано, что удельная поверхность адсорбентов $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ и Li_2TiO_3 увеличивается от 5 до 11 и от 8 до 15 $\text{m}^2/\text{г}$, а сорбционный объем пор изменяется незначительно.

Литература

1. Yu H., Naidu G., Zhang C. // Desalination. – 2022. – Vol. 539. – Article ID 115951.
2. Zhu X., Yue H., Sun W. // Separation and Purification Technology. – 2021. – Vol. 274. – ID 119099.
3. Zhang Y., Jiang Z., Huang J. // RSC Advanced. – 2015. – Vol. 5. – P. 79479-79485.



ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАОЛИНА КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕОЛИТОВ

Здрецов И. М., Герасимов А. М.

*Санкт-Петербургский горный университет имени
императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург,
Россия*

Алюмосиликатные цеолиты с общей формулой $M_{x/n}^{n+}[(AlO_2)_x(SiO_2)_y] \cdot zH_2O$ незаменимы во многих химических процессах. Традиционно их получают из синтетических источников кремния и алюминия, что связано с отходами при их производстве и высокими денежными затратами. Растет интерес к относительно недорогому альтернативному сырью для синтеза цеолитов [1, 2], в частности к каолину, породе, содержащей преимущественно минерал каолинит с формулой $Al_2Si_2O_5(OH)_4$. Задачей настоящей работы стало проведение литературного обзора по синтезу цеолитов из каолина с целью создания теоретической базы для дальнейшей разработки технологии.

Изучение литературы велось с опорой на анализ, синтез, обобщение, классификацию и систематизацию данных. Было начато лабораторное исследование с использованием вторичного каолина с Окладневского месторождения в качестве сырья. Полуколичественный анализ его химического состава в диапазоне от Al до U был проведен на рентгенофлуоресцентном спектрометре Shimadzu EDX-7000P.

Из каолина были синтезированы цеолиты с различными типами каркасов, некоторые из которых приведены на рисунке 1. Для использования каолина в качестве сырья для синтеза цеолитов часто необходима его предварительная подготовка. В обзоре были выделены следующие типовые операции: измельчение до определенного размера (G); выделение отдельной гранулометрической фракции (S); очистка от примесей (P); метакаолинизация (M) – прокаливание каолина при температуре примерно 700 °C

с получением более реакционноспособного метакаолина; сплавление со щелочью (F); деалюминирование (D) – выщелачивание Al кислотой для повышения мольного соотношения Si/Al [3, 4]. Реакционную смесь составляют из подготовленного каолина и обычно NaOH и H₂O. Далее проводится низкотемпературный этап и непосредственно гидротермальный синтез с последующим отделением и термообработкой продуктов. Некоторые синтезы приведены в Таблице 1.

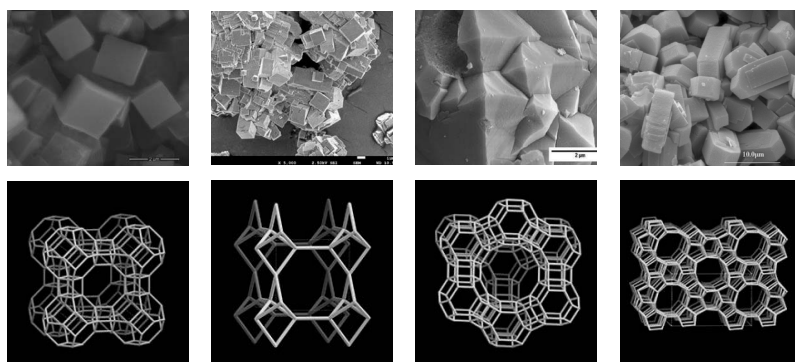


Рисунок 1. Фотографии SEM некоторых цеолитов, полученных из каолина, и соответствующие им изображения каркаса с официального сайта International Zeolite Association [5]. (a) NaA (LTA) [6]. (b) Цеолит N (EDI) [7]. (c) NaY (FAU) [8]. (d) ZSM-5 (MFI) [9]

Химический состав каолина, взятого для исследования, мас. %: SiO₂ – 56,885; Al₂O₃ – 33,881; TiO₂ – 3,706; Fe₂O₃ – 2,570; P₂O₅ – 0,821; K₂O – 0,653; CaO – 0,570; SO₃ – 0,418; ZrO₂ – 0,209; V₂O₅ – 0,123; прочее – 0,164.

Получение цеолитов из каолина возможно, однако это не всегда экологично и недорого. Стадия очистки необходима для получения чистого продукта, при этом мокрые методы создают жидкие отходы, с которыми сложнее работать, чем с твердыми [28, 29]. Деалюминирование связано с дополнительными денежными затратами на кислоту, требует введения в технологическую цепочку оборудования для выщелачивания и создает жидкие отходы в виде растворов солей алюминия. При

Таблица 1. Систематизированные литературные данные о синтезе различных цеолитов из каолина

Каолин		Подг.	Формула геля (мольное отношение компонентов)	Гомогенизация, растворение, старение		Синтез		Продукт		Лит.	
Si/Al	Прим., мас. %			τ, ч	T, °C	τ, ч	T, °C	Цеолит	RC, %		
1,06	13,16	M-G	2,12SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :4,29Na ₂ O:195H ₂ O	1	RT	+	3	110	NaA	40,77	[10]
1,41	2,33	M	2,82SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :11,78Na ₂ O:447H ₂ O	1/6	RT	+	20	100	NaA	74,6	[11]
1,29	9,0	P-M	2SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :Na ₂ O:37H ₂ O	1	50	500	3	100	NaA	75	[12]
				1	RT	-					
1,42	2,6	M	2,84SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :3,14Na ₂ O:110H ₂ O	4	60	600	4	100	NaA	76,7	[13]
0,97	3,48	S-M	1,94SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :4Na ₂ O:100H ₂ O	-	-	-	4	70	NaA	82,16	[14]
1,04	6,72	F-G	2,09SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :3,11Na ₂ O:294H ₂ O (заправка NaA 1 мас. %)	5	30	+	5	90	NaA	83,98	[15]
1,29	9,0	F	2SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :Na ₂ O:37H ₂ O	1	50	500	3	100	NaA	84	[12]
				1	RT	-					
1,44	2,9	F-G	2,88SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :3,14Na ₂ O:110H ₂ O	4	60	600	4	100	NaA	87,1	[13]
1,18	6,16	G-M	2,35SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :6,35Na ₂ O:150H ₂ O	-	-	-	8	66	NaA	88,57	[16]
1,42	2,6	F-G	2,84SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :3,14Na ₂ O:110H ₂ O	4	60	600	4	100	NaA	89,4	[13]
1,04	2,90	M	2,1SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :3,5Na ₂ O:143,2H ₂ O	4	RT	600	8	100	NaA	90	[17]
				24							
1,37	11,3	P-M	2SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :Na ₂ O:37H ₂ O	1	50	500	3	100	NaA	90	[18]
				3	RT	-					
1,37	11,3	F	2SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :Na ₂ O:37H ₂ O	1	50	500	3	100	NaA	91	[18]
				3	RT	-					
ND	ND	M	2,4SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :2,4Na ₂ O:60H ₂ O	1	RT	+	20	60 ^N	NaA	96	[19]
0,98	4,0	M	1,96SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :3,35Na ₂ O:151H ₂ O (заправка NaA 4 мас. %)	ND	RT	+	6	100	NaA	99,68	[20]
				12	RT 70	-					
				2		-					

Каолин		Подг.	Формула геля (мольное отношение компонентов)	Гомогенизация, растворение, старение				Синтез		Продукт		Лит.
Si/Al	Прим., мас. %			τ, ч	T, °C	N, об./ мин	τ, ч	T, °C	Цеолит	RC, %		
0,95	2,0	M	1,9SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :3,14Na ₂ O:110H ₂ O	4	60	600	4	100	NaA	100	[13]	
0,98	4,0	M	1,97SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :4,93Na ₂ O:197H ₂ O	2	70	–	6	100	NaA	100	[21]	
1,10	3,77	M-D	3,2SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :2,88Na ₂ O:0,32K ₂ O: 96H ₂ O	1	60	450	24	80	NaX	95	[22]	
1,04	2,90	G-F	2,1SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :3,5Na ₂ O:143,2H ₂ O	4	RT	600	48	100	NaX	95,9	[17]	
ND	ND	M	3SiO ₂ ^{ADD} :Al ₂ O ₃ :2,4Na ₂ O:80H ₂ O	8	RT	+	24	96	NaX	97	[19]	
ND	ND	M	7SiO ₂ ^{ADD} :Al ₂ O ₃ :2,6Na ₂ O:126,3H ₂ O (заправочный гель 23 мас. % 17,5SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :16,5Na ₂ O:360H ₂ O)	1	54	–	28	100	NaY	90	[23]	
ND	ND	M	10SiO ₂ ^{ADD} :Al ₂ O ₃ :3Na ₂ O:220H ₂ O (заправочный гель 5 об. % 12SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :12,7Na ₂ O:290H ₂ O)	6	RT	–	42	100	NaY	98	[24]	
1,04	2,13	M-D	SiO ₂ :0,215NaOH: 35,8H ₂ O (заправка ZSM-5 5 мас. %)	–	–	–	6	190	ZSM-5	96,7	[25]	
1,04	2,13	M-D	SiO ₂ :0,215NaOH:0,024TPABr:35,8H ₂ O	4	RT	400	72	180	ZSM-5	98	[26]	
ND	ND	M-D	100SiO ₂ :Al ₂ O ₃ :5Na ₂ O:6TEAOH:350H ₂ O	–	–	–	16	170	Beta	98,1	[27]	

Пояснения к таблице. Прим., мас. % – массовая доля всех компонентов образца каолина помимо SiO₂, Al₂O₃ и потерь при прокаливании. Шаблоны: TPABr – бромид тетрапропиламмония, TEAOH – гидроксид тетраэтиламмония. Надстрочные комментарии: ADD – реакционная смесь составлена с добавлением дополнительного источника Si; N – синтез ведется при перемешивании. RC – относительная кристалличность. ND – нет данных. RT – комнатная температура. Знак «+» показывает наличие фактора, «-» – отсутствие.

сплавлении со щелочью всегда получаются цеолиты с высокой кристалличностью, однако в промышленности это трудно реализуемо. Метакаолинизация является необходимым этапом и удорожает изначально дешевое сырье, однако, как показывают исследования, это все еще экономически выгоднее, чем использование традиционных источников при синтезе цеолитов NaA и NaX с низким Si/Al [30, 31]. При введении дополнительных источников кремния с некоторого значения Si/Al использование каолина окажется невыгодным.

Как показывают результаты теоретического исследования, разработка технологий получения высококремнистых цеолитов из каолина на данный момент является заведомо невыгодной, а также неэкологичной. Каолин является идеальным сырьем для получения NaA из-за отсутствия необходимости в dealюминировании и введении дополнительных источников Si. С экономической точки зрения это так же перспективно. В связи с этим целью дальнейшего исследования станет разработка маршрута синтеза цеолита NaA из каолина с использованием метакаолинизации и сухих методов очистки.

Литература

1. Свахина Я. А., Титова М. Е., Пягай И. Н. Синтез низко модульных цеолитов с применением отходов производства фторида алюминия // Современные тенденции развития химической технологии, промышленной экологии и экологической безопасности. – 2022. – С. 238-240.
2. Svakhina Y. A., Titova M. E., Pyagay I. N. Products of Apatite-Nepheline Ore Processing in the Synthesis of Low-Modulus Zeolites // Indonesian Journal of Science and Technology. – 2023. – Т. 8. – №. 1. – С. 49-64. DOI: 10.17509/ijost.v8i1.51979.
3. Gerasimov A. M., Eremina O. V. Application microwave radiation for directional changes of layered silicates properties // Eurasian Mining. – 2021. – №. 1. – С. 55-60. DOI: 10.17580/em.2021.01.11.
4. Gerasimov A. M., Ustinov I. D., Zyryanova O. V. Use of clay-containing waste as pozzolanic additives // Записки Горного института. – 2023. – №. 260 (eng). – С. 313-320. DOI: 10.31897/PMI.2023.33.
5. Database of Zeolite Structure: [Электронный ресурс] // IZA Structure Commission. URL: <http://www.iza-structure.org/databases/>. (Дата обращения 13.08.2023).

6. Dahani W. et al. Direct transformation of Bangka kaolin to zeolite 4A: Effect of hydrothermal temperature // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2020. – T. 2267. – №. 1. DOI: 10.1063/5.0015933.

7. Probst J. et al. Sustainable ammonium recovery from wastewater: Improved synthesis and performance of zeolite N made from kaolin // Microporous and Mesoporous Materials. – 2021. – T. 316. – C. 110918. DOI: 10.1016/j.micromeso.2021.110918.

8. Otieno S. et al. Effect of kaolin pre-treatment method and NaOH levels on the structure and properties of kaolin-derived faujasite zeolites // Materials Advances. – 2021. – T. 2. – №. 18. – C. 5997-6010. DOI: 10.1039/d1ma00449b.

9. Feng H., Li C., Shan H. In-situ synthesis and catalytic activity of ZSM-5 zeolite // Applied Clay Science. – 2009. – T. 42. – №. 3-4. – C. 439-445. DOI: 10.1016/j.clay.2008.05.004.

10. Cui Y., Zheng Y., Wang W. Synthesis of 4A zeolite from kaolinite-type pyrite flotation tailings (KPFT) // Minerals. – 2018. – T. 8. – №. 8. – C. 338. DOI: 10.3390/min8080338.

11. Gougazeh M., Buhl J. C. Synthesis and characterization of zeolite A by hydrothermal transformation of natural Jordanian kaolin // Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences. – 2014. – T. 15. – C. 35-42. DOI: 10.1016/j.jaubas.2013.03.007.

12. Ayele L. et al. Conventional versus alkali fusion synthesis of zeolite A from low grade kaolin // Applied Clay Science. – 2016. – T. 132. – C. 485-490. DOI: 10.1016/j.clay.2016.07.019.

13. Kirdeciler S. K., Akata B. One pot fusion route for the synthesis of zeolite 4A using kaolin // Advanced Powder Technology. – 2020. – T. 31. – №. 10. – C. 4336-4343. DOI: 10.1016/j.apt.2020.09.012.

14. Lee S. G. et al. Low temperature synthesis of zeolite using ultrasonic energy // Materials Science Forum. – Trans Tech Publications Ltd, 2005. – T. 486. – C. 281-284. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.486-487.281.

15. Lim W. R., Lee C. H., Hamm S. Y. Synthesis and characteristics of Na-A zeolite from natural kaolin in Korea // Materials Chemistry and Physics. – 2021. – T. 261. – C. 124230. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2021.124230.

16. Villaquirán-Caicedo M. A. et al. Synthesis of zeolites from a low-quality Colombian kaolin // Clays and Clay Minerals. – 2016. – T. 64. – №. 2. – C. 75-85. DOI: 10.1346/CCMN.2016.0640201.

17. Otieno S. O. et al. The effects of metakaolinization and fused-metakaolinization on zeolites synthesized from quartz rich natural clays // Microporous and Mesoporous Materials. – 2019. – T. 290. – C. 109668. DOI: 10.1016/j.micromeso.2019.109668.

18. Ayele L. et al. Synthesis of zeolite A using kaolin from Ethiopia and its application in detergents // New Journal of Chemistry. – 2016. – T. 40. – №. 4. – C. 3440-3446. DOI: 10.1039/c5nj03097h.

19. Pavlov M. L. et al. Binder-free syntheses of high-performance zeolites A and X from kaolin // Petroleum Chemistry. – 2009. – T. 49. – C. 36-41. DOI: 10.1134/S0965544109010071.

20. Miao Q. et al. Synthesis of NaA zeolite from kaolin source // *Frontiers of chemical engineering in China*. – 2009. – Т. 3. – С. 8-11. DOI: 10.1007/s11705-009-0094-8.

21. Zhou Z. et al. Crystallization mechanism of zeolite A from coal kaolin using a two-step method // *Applied Clay Science*. – 2014. – Т. 97. – С. 110-114. DOI: 10.1016/j.clay.2014.05.015.

22. Caballero I., Colina F. G., Costa J. Synthesis of X-type zeolite from dealuminated kaolin by reaction with sulfuric acid at high temperature // *Industrial & engineering chemistry research*. – 2007. – Т. 46. – №. 4. – С. 1029-1038. DOI: 10.1021/ie060367y.

23. Li Q. et al. Influence of synthesis parameters on the crystallinity and Si/Al ratio of NaY zeolite synthesized from kaolin // *Petroleum Science*. – 2010. – Т. 7. – С. 403-409. DOI: 10.1007/s12182-010-0085-x.

24. Pavlov M. L. et al. Synthesis of ultrafine and binder-free granular zeolite Y from kaolin // *Petroleum Chemistry*. – 2015. – Т. 55. – С. 552-556. DOI: 10.1134/S0965544115070105.

25. Pan F. et al. Synthesis of nano/micro scale ZSM-5 from kaolin and its catalytic performance // *Kinetics and Catalysis*. – 2017. – Т. 58. – С. 541-548. DOI: 10.1134/S0023158417050184.

26. Pan F. et al. Organic template-free synthesis of ZSM-5 zeolite from coal-series kaolinite // *Materials Letters*. – 2014. – Т. 115. – С. 5-8. DOI: 10.1016/j.matlet.2013.10.007.

27. Duan A. et al. Optimal synthesis of micro/mesoporous beta zeolite from kaolin clay and catalytic performance for hydrodesulfurization of diesel // *Catalysis today*. – 2011. – Т. 175. – №. 1. – С. 485-493. DOI: 10.1016/j.cattod.2011.03.044.

28. Арсентьев В.А., Герасимов А.М., Устинов И.Д. Ресурсосбережение при обогащении руд, содержащих слоистые силикаты // *Горный журнал*. – 2018. – №. 12. – С. 52-58. DOI: 10.17580/gzh.2018.12.11.

29. Герасимов А. М., Арсентьев В. А. Слоистые силикаты и их влияние на процессы обогащения полезных ископаемых // *Обогащение руд*. – 2018. – №. 5. – С. 22-28. DOI: 10.17580/or.2018.05.04.

30. Costa E. et al. Synthesis of 4A zeolite from calcined kaolins for use in detergents // *Industrial & engineering chemistry research*. – 1988. – Т. 27. – №. 7. – С. 1291-1296. DOI: 10.1021/ie00079a033.

31. De Lucas A. et al. Synthesis of 13X zeolite from calcined kaolins and sodium silicate for use in detergents // *Industrial & engineering chemistry research*. – 1992. – Т. 31. – №. 9. – С. 2134-2140. DOI: 10.1021/ie00009a010.



ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ НЕНАСЫЩЕННЫХ И ХАЛЬКОГЕНОРГАНИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ НА ОСНОВЕ ГАЛОГЕНИДОВ ХАЛЬКОГЕНОВ, АЦЕТИЛЕНА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ

**Потапов В. А., Мусалов М. В., Ишигеев Р. С.,
Беловежец Л. А., Хабибулина А. Г.,
Майлян А. А., Пакеева А. А., Мусалова М. В.,
Живетьева С. А., Амосова С. В.**

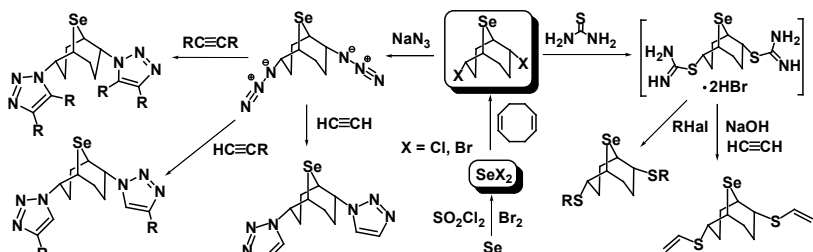
*Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского
СО РАН, г. Иркутск, Россия*

На основе ацетиленов и его производных разработан комплекс эффективных способов получения полиненасыщенных соединений: аллилацетиленов, диаллилацетиленов, аллилдиаллилацетиленов, диаллилдиаллилацетиленов и других продуктов – перспективных реагентов для малотоннажной химии.

За последние годы нами введен в органический синтез ряд эффективных реагентов: дихлорид и дибромид селена, 8-хинолинсульфенилбромид и 2-хинолинсульфенилбромид. На основе дигалогенидов селена, 2- и 8-хинолинсульфенилгалогенидов, 2-пиридинсульфенил- и селенилгалогенидов разработан комплекс эффективных способов получения функциональных и гетероциклических конденсированных халькогенорганических соединений.

Систематически изучены реакции 2-хинолин- и 8-хинолинсульфенилгалогенидов, 2-пиридинсульфенил- и -селенилгалогенидов с ненасыщенными соединениями, включая природные продукты: эвгенол, изоэвгенол, анетол и др. В результате разработаны эффективные подходы к новым производным [1,3]тиазоло[3,2-*a*]хинолиния-10, [1,4]тиазино[2,3,4-*ij*]хинолиния-4, [1,3]тиазоло- и [1,3]селеназоло[3,2-*a*]пиридиния-4. Найдены соединения с высокой биологической активностью.

На основе реакций дигалогенидов селена разработаны одно-реакторные методы бисфункционализации ненасыщенных соединений, в том числе трансаннулярного присоединения-бисфункционализации. Реакцией 1,3-диполярного циклоприсоединения 2,6-диазидо-9-селенабицикло[3.3.1]нонана с ацетиленом и его производными синтезирован большой ряд 2,6-бис(1,2,3-триазолил)-9-селенабицикло[3.3.1]нонанов с высокими выходами.



Разработаны одnoreакторные методы оксителлурирования ненасыщенных соединений на основе реакций с тетрагалогенидами теллура в присутствии алканолов и воды с образованием 2-алкоксиалкилтелланов и 2-гидроксиалкилтелланов с высокими выходами.

Авторы благодарят РФФ (грант № 22-13-00339) за финансовую поддержку.



КАТАЛИТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ 4-ГИДРОКСИМЕТИЛ-2-КАРЕНА ИЗ 3-КАРЕНА

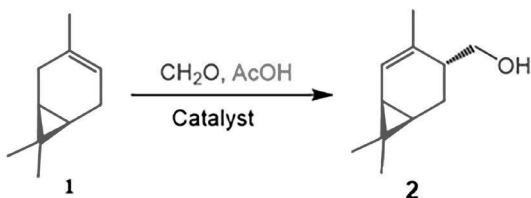
**Сидоренко А. Ю.^{а)}, Курбан Ю. М.^{а)},
Халимонюк Т. В.^{а)}, Ильина И. В.^{б)},
Ли-Жуланов Н. С.^{б)}, Бей М. П.^{а)},
Игнатович Ж. В.^{а)}, Волчо К. П.^{б)},
Салахутдинов Н. Ф.^{б)}, Мурзин Д. Ю.^{с)},
Агабеков В. Е.^{а)}**

*^{а)} Институт химии новых материалов НАН Беларуси,
Минск*

*^{б)} Новосибирский институт органической химии
СО РАН, Новосибирск, Россия*

^{с)} Университет Або Академи, Турку, Финляндия

Впервые систематически исследована каталитическая конденсация 3-карена (**1**) с формальдегидом (ФА) для одностадийного получения терпеноида *транс*-4-гидроксиметил-2-карена (**2**, рис.), коммерчески значимого душистого соединения [1], которое также является платформой для синтеза гетероциклических соединений [2].



Конденсация 3-карена с формальдегидом

Традиционные кислоты Бренстеда и Льюиса, а также алюмосиликаты (галлуазит, монтмориллонит К-10, цеолит H-Beta-25) катализируют эту реакцию в растворе уксусной кислоты при 15 °С, однако селективность по продукту **2** невелика из-за его дальнейшего превращения путем (i) ацетилирования и (ii) при-

соединения второй молекулы ФА. Так, в присутствии $ZnCl_2$ и $LiClO_4$ преобладают соединения вторичной конденсации с ФА (до 50,0 %), а на галлузите и К-10 отмечается низкая конверсия 3-карена (около 30,0 %) с преобладанием продуктов ацетилирования (до 46,1 %).

Наибольшая селективность по *транс*-4-гидрокси-метил-2-карену при конверсии **1** (50 %) наблюдается в присутствии фосфорная кислота (50,0–66,0 %). Выход целевого терпеноида увеличивается при избытке ФА или катализатора, поскольку концентрация активной формы формальдегида является ключевым фактором в реакции. Добавление воды в систему также привело к некоторому повышению выхода **2** за счет ингибирования побочных реакций.

В оптимизированных условиях с использованием системы H_3PO_4 -AcOH при 15°C селективность по *транс*-4-гидрокси-метил-2-карену составила 67,0 %. Предложен и обсужден механизм конденсации 3-карена с ФА. Квантово-химические расчеты показывают, что дальнейшие превращения терпеноида **2** энергетически выгодны, что согласуется с экспериментальными данными. Синтез целевого продукта **2** проведен в масштабе до 25 г, показана возможность рециклинга 3-карена.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (грант X23PHФ-028) и РНФ (23-43-10019).

Литература

1. G.Sadowska, J.Gora // *Perfumer & Flavorist*, 1982, 7, 52–56.
2. A.Yu.Sidorenko, Yu.M.Kurban, A.V.Kravtsova, I.V.Iľina, N.S.Li-Zhulanov, D.V.Korchagina, J.E.Sánchez-Velandia, A.Aho, K.P.Volcho, N.F.Salakhutdinov, D.Yu.Murzin, V.E.Agabekov // *Appl. Catal. A: Gen.*, 2022, 629, 118395.



ФОРМИРОВАНИЕ И СВОЙСТВА СКАФФОЛДОВ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА

**Красковский А. Н., Машкин М. Е.,
Куликовская В. И.**

*Институт химии новых материалов НАН Беларуси,
Минск*

Разработка раневых покрытий, пригодных для лечения хронических ран и действующих на разные стадии раневого процесса, является актуальной задачей регенеративной медицины. Одним из перспективных направлений в этой области является использование в качестве раневых покрытий биополимерных высокопористых материалов, морфология и состав которых близки к внутриклеточному матриксу. Перспективным биополимером, который может быть использован в качестве основы раневых покрытий, является полисахарид хитозан, обладающий антифунгальными, антибактериальными, гемостатическими и мукоадгезивными свойствами [1, 2].

Для формирования скаффолдов 1,0; 2,5; 5,0 масс. % растворы хитозана (Хит) с различной молекулярной массой (20, 340 и 1200 кДа) в 2 % уксусной кислоте выливали в пластиковые чашки Петри (Ø 35 мм), выдерживали 1 ч при комнатной температуре, замораживали при $-20,0^{\circ}\text{C}$ (24 ч) и лиофильно высушивали при $-50,0^{\circ}\text{C}$ и 4,0 Па в течение 8 ч. Для повышения устойчивости в физиологических средах высушенные скаффолды “сшивали” раствором цитрата натрия в 80 % этаноле в течение 1 ч, дважды промывали 80 % этанолом и один раз 96 % этанолом по 15 мин. Массовое соотношение хитозан:цитрат натрия составляло 10:1. Далее полученные скаффолды высушивали при $50,0^{\circ}\text{C}$. Морфологию скаффолдов изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) (JEOL, JSM-6000Plus, Япония). Предварительно образцы напыляли платиной. Плотность и пористость скаффолдов определяли методом замещения жидкостью [3]. В качестве замещающей жидкости использовали

этанол. Степень набухания скаффолдов оценивали весовым методом. Предварительно взвешенные образцы погружали в чашки Петри (Ø 35 мм) с 3 мл раствора фосфатно-солевого буфера Дульбекко. Через 1 ч извлекали набухшие образцы, удаляли излишки влаги с помощью фильтра Шотта и определяли их массу. Далее по уравнению рассчитывали степень набухания образцов.

Методом криоструктурирования сформированы криогели на основе хитозана с различной молекулярной массой. Согласно данным СЭМ-анализа полученные скаффолды имеют преимущественно губчатую или пластинчатую структуру. Показано, что после сшивки цитратом натрия структура скаффолдов сохраняется (рис.).

При увеличении концентрации хитозана в рабочем растворе от 1,0 до 5,0 масс. % (вне зависимости от его молекулярной массы) плотность исходных скаффолдов возрастает в ~ 3 раза (с $23,0 \div 28,0$ до $72,0 \div 89,0$ мг/см³), а пористость снижается с $94,0 \div 97,0$ до $71,0 \div 77,0$ %. Установлено, что после сшивки цитратом натрия плотность скаффолдов также повышается. При этом, как и для исходных матриц, плотность скаффолдов возрастает с $28,0 \div 43,0$ до $86,0 \div 115,0$ мг/см³ при повышении концентрации хитозана от 1,0 до 5,0 масс. %. Следует отметить, что пористость матриц после сшивки существенно не изменяется. Установлено, что сшитые криогели хитозана устойчивы в фосфатном буфере и характеризуются высокой степенью набухания: от 508 до 1152 %. При этом для средне- и высокомолекулярного хитозана степень набухания снижается в 1,5-2,0 раза при увеличении концентрации полимера в рабочем растворе от 1,0 до 5,0 масс. %.

Методом криоструктурирования получены скаффолды на основе хитозана, перспективные в качестве основы при разработке раневых покрытий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № X22B-006).

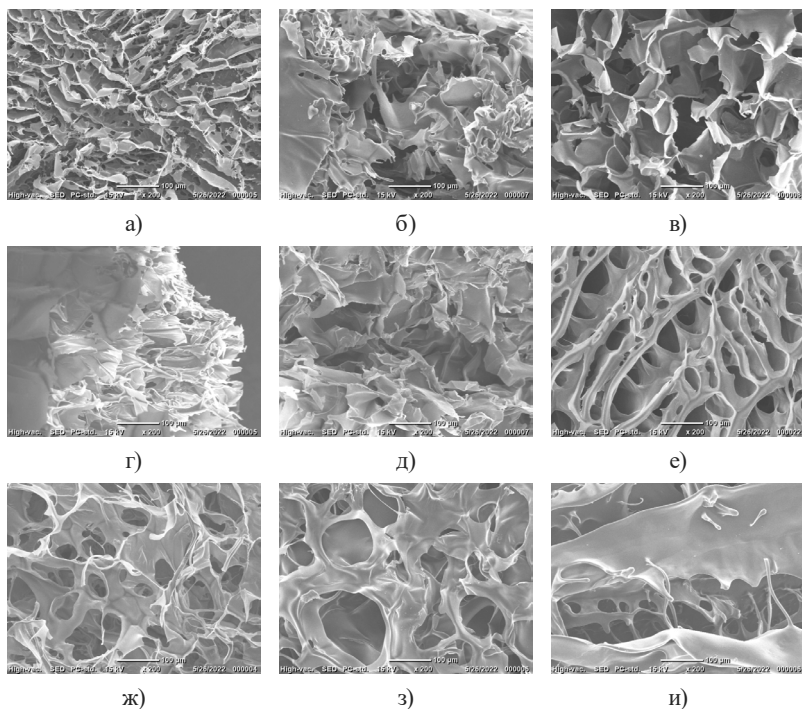


Рисунок. СЭМ-изображения криогелей хитозана, сшитых цитрат ионами. Молекулярная масса хитозана 20 (а-в), 340 (г-е) и 1200 (ж-и) кДа, концентрация хитозана 1,0 (а, г, ж), 2,5 (б, д, з) и 5,0 (в, е, и) масс. %

Литература

1. Aranaz I, Alcántara A.R., Civera M.C., Arias C., Elorza B., Heras Caballero A., Acosta N. // *Polymers (Basel)*. – 2021. – Vol. 13(19). – P. 3256.
2. Verlee A., Mincke S., Stevens C.V. // *Carbohydr. Polym.* – 2017. – Vol. 164. – P. 268–283.
3. Kulikouskaya V., Kraskouski A., Hileuskaya K., Zhura A., Tratsyak S., Agabekov V. // *J. Biomed. Mater. Res. A*. – 2019. – Vol. 107 (8). – P. 1814-1823.



ПРИМЕНЕНИЕ СЛОЖНЫХ (Ca, Mg)-Zr ФОСФАТОВ В ПЕРЕРАБОТКЕ ЖРО

**Иванец А. И., Шашкова И. Л., Китикова Н. В.,
Дикая А. С.**

*Институт общей и неорганической химии НАН
Беларуси, г. Минск*

Атомная энергетика является одной из наиболее эффективных и рентабельных «зеленых» технологий, используемых для решения проблем растущего мирового энергопотребления [1, 2]. Активное развитие отрасли обуславливает необходимость поиска новых подходов обращения с жидкими радиоактивными отходами (ЖРО), образующимися при эксплуатации атомных электростанций. Известные методы переработки ЖРО включают стадии максимального концентрирования основных дозообразующих радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{60}Co и надежной иммобилизации радиоактивного материала в минимально возможном объеме устойчивой матрицы для безопасного захоронения на весь период их потенциальной опасности. Актуальным является разработка материалов и технологий для комплексного решения задач основных этапов обращения с ЖРО. Цель работы – разработка многофункциональных материалов на основе (Ca, Mg)-Zr фосфатов и обоснование возможности их применения в переработке ЖРО.

Исходным сырьем для получения адсорбентов являлся природный доломит (Руба, Беларусь), который после термической активации подвергали фосфатированию. Образцы (Ca, Mg)-Zr фосфатов получены гетерогенным взаимодействием фосфатированного доломита $\text{Ca}_{0.7}\text{Mg}_{0.3}\text{HPO}_4$ и водного раствора нитрата цирконила $\text{ZrO}(\text{NO}_3)_2$. Методами РФА, ИК-спектроскопии, РФС, SEM-EDX, ДТА-ТГ и низкотемпературной адсорбции-десорбции азота были изучены физико-химические характеристики адсорбентов [3]. Исследованы закономерности и механизм ад-

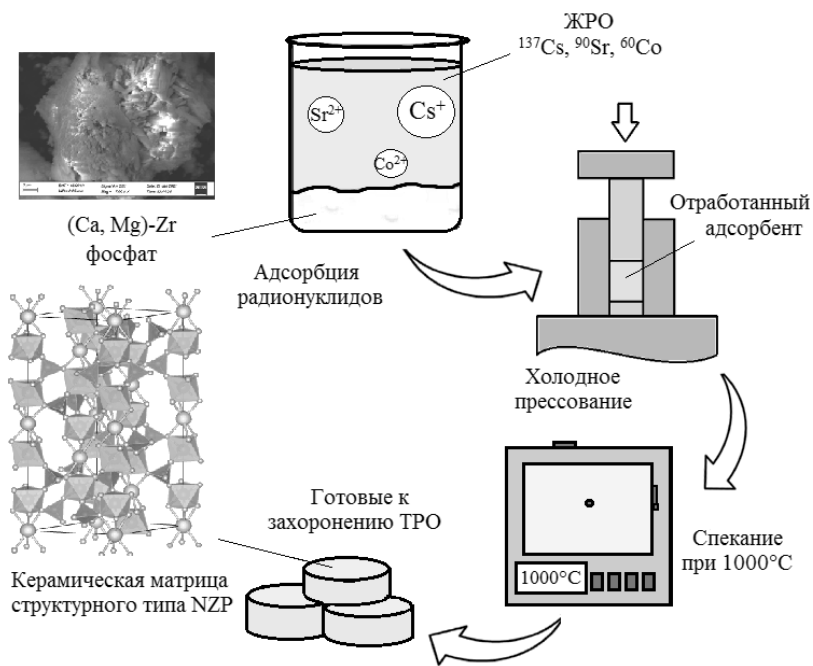
сорбции ионов Cs^+ , Sr^{2+} , Co^{2+} . Методом холодного прессования с последующим спеканием при 1000°C осуществлен перевод отработанных адсорбентов в керамические матрицы. Исследован фазовый состав, механическая прочность и устойчивость керамических материалов к выщелачиванию ионов Cs^+ , Sr^{2+} , Co^{2+} .

Полученные адсорбенты представляют собой смесь аморфного фосфата циркония и гидрофосфатов кальция и магния и являются мезопористыми материалами с площадью поверхности ($A_{\text{ВЕТ}}$) от 63 до $125 \text{ м}^2/\text{г}$. Значения адсорбционной емкости образцов (Ca, Mg)-Zr фосфатов по отношению к ионам Cs^+ , Sr^{2+} , Co^{2+} при C_0 (Me) = 0,05 М, $V/m = 250 \text{ мл/г}$ и времени контакта 24 ч достигают 254,7, 275,6 и 258,9 мг/г соответственно. Установлено, что поглощение ионов Cs^+ происходит в результате ионообменного взаимодействия с аморфным фосфатом циркония, в то время как Co^{2+} – хемосорбционного с гидрофосфатами кальция и магния с образованием малорастворимого фосфата кобальта. Для Sr^{2+} реализуется смешанный механизм адсорбции.

Содержание цезия, стронция и кобальта в образцах керамических матриц составляет от 8,1 до 30,2 мас. %. Адсорбированные ионы находятся в составе сложных Zr-фосфатов: $\text{CsZr}_2(\text{PO}_4)_3$, $\text{SrZr}_4(\text{PO}_4)_6$, $\text{Ca}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{Zr}_4(\text{PO}_4)_6$, $\text{CoZr}_4(\text{PO}_4)_6$, относящихся к структурному типу NZP. Механическая прочность образцов достигает 7,7-259,2 МПа. Полученные значения скорости выщелачивания ионов Cs^+ , Sr^{2+} , Co^{2+} через 60 сут выдерживания в дистиллированной воде согласно ГОСТ 52126–2003 находятся в диапазоне $4,3 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-4}$, $(1,4-6,1) \times 10^{-6}$, $(7,3-20,3) \times 10^{-6} \text{ г/см}^2 \times \text{сут}$ соответственно.

На основе результатов проведенных исследований предложена схема переработки ЖРО (рис.), которая включает селективное извлечение радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{60}Co адсорбентами на основе фосфатов (Ca, Mg)-Zr. После чего отработанные адсорбенты путем термической обработки при 1000°C переводят в устойчивые керамические материалы структурного NZP, пригодные для безопасного захоронения.

В настоящей работе показана возможность применения синтезированных из природного доломита сложных (Ca, Mg)-Zr фосфатов для одностадийного извлечения ионов Cs^+ , Sr^{2+} , Co^{2+}



Предлагаемая схема переработки ЖРО

и перевод отработанных сорбентов путем термической обработки в устойчивые керамические матрицы. Полученные керамические материалы характеризуются высокой механической прочностью и устойчивостью к выщелачиванию адсорбированных ионов, что обусловлено формированием фосфатов $\text{Me}^{\text{I}}\text{Zr}_2(\text{PO}_4)_3$ и $\text{Me}^{\text{II}}\text{Zr}_4(\text{PO}_4)_6$ структурного типа NZP, которые являются известной матрицей для иммобилизации радионуклидов.

Литература

1. Davis S.J. [et al.] // Science – 2018. – Vol. 360. – P. 6396.
2. Imran M. [et al.] // Geosci. Frontiers – 2023. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101608>.
3. Ivanets A. [et al.] // Sep. and Pur. Technol. – 2021. – Vol. 272. – P. 118912.



ОСОБЕННОСТИ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛОКНИСТОГО АНИОНИТА ФИБАН АК-22 НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОКСИЛАМИНА

**Матусевич В. В., Поликарпов А. П.,
Грачек В. И., Лысенко Г. Н., Исакович О. И.,
Медяк Г. В., Шункевич А. А., Акулич З. И.**

*Институт физико-органической химии НАН Беларуси,
г. Минск*

Введение гидроксилamina (ГА) в реакционную среду при аминировании полиакрилонитрильного (ПАН) волокна различными аминами позволило значительно сократить время синтеза, необходимое для достижения необходимой обменной емкости [1]. Ионообменные волокна ФИБАН, полученные таким образом, получили индекс «N» после основного, более раннего названия, например, ФИБАН АК-22(N), ФИБАН А-5(N), и другие [2,3]. В работе [3] показано, что ионообменные материалы ФИБАН А-11 (N) и А-5(N) имеют по сравнению с ФИБАН А-11 и А-5 большее время удерживания и большую сорбционную емкость по диоксиду серы при некоторых значениях влажности очищаемого от SO₂ воздуха.

Существует точка зрения, что ГА в реакциях аминирования ПАН волокон является катализатором и, по определению, не изменяет конечные продукты реакции [4-5]. Однако, достаточных данных о механизме влияния ГА на реакции аминирования ПАН волокон и особенности свойств получаемых ионитов нет.

Цель работы – исследовать влияние времени синтеза на свойства и особенности анионита ФИБАН АК-22, получаемого аминированием ПАН волокна диэтилен триамином (ДЭТА), в присутствии и в отсутствие ГА.

Волокно ПАН марки «Нитрон «Д» представляло собой сополимер акрилонитрила (90,79 масс. %), метилакрилата (8,24 масс. %) и Na-соли 2-акриламид 2-метилпропан сульфокислоты (0,97 масс. %). Аминирование проводили в стеклянном реакторе с обратным холодильником при 100 °С и 110 °С. Син-

тезы при 100 °С проведены в атмосфере аргона с масляным затвором. Определение емкости образцов, набухания проводилось по методике, описанной в [6].

Как следует из таблиц 1, 2, добавление ГА существенно увеличивает скорость аминирования ПАН, но несколько увеличивает содержания в анионите карбоксильных групп. Снижение модуля ванны до 2,75 мл/г ПАН уменьшает емкость анионита при большом времени синтеза, но является весьма выгодным с технологической точки зрения.

Таблица 1. Характеристики аминированных при 100°С образцов ПАН, модуль ванны 10,8 мл/г

Время синтеза, ч	Набухание, г/г		СОЕ, мг-экв./г, (NH ₂ HCl)		СОЕ, мг-экв./г, (-NH ₂)		СОЕ, мг-экв./г. Сумма по аминогруппам		СОЕ, мг-экв./г (-COOH)		Привес, масс. %	
	Без ГА	С ГА	Без ГА	С ГА	Без ГА	С ГА	Без ГА	С ГА	Без ГА	С ГА	Без ГА	С ГА
0.25	0.06	0.08	0.05	0.07	0.0	0.035	0.05	0.1;	0.18	0.1;	0	1,67
0.5	0.1	0.16	0.05	0.15	0.033	0.23	0.05	0.39	0.05	0.05	0	3,5
1	0.07	0.15	0.06	0.6	0.08	0.33	0.13	0.94	0.07	0.07	1,3	11,84
2	0.12	0.33	0.03	1.4	0.02	1.02	0.45	2.4	0.09	0.37	2,9	28,75
4	0.16	0.78	0.40	2.87	0.12	1.82	0.52	4.7	0.25	0.88	5,84	86,7
6	0.7	0.96	1.67	4.14	1.46	2.02	3.13	6.2	0.37	1.03	8,34	93,6

Таблица 2. Характеристики аминированных при 110°С образцов ПАН, модуль ванны 2,75 мл/г

Время синтеза, ч	Набухание, г/г		СОЕ, мг-экв./г, (NH ₂ HCl)		СОЕ, мг- экв./г, (-NH ₂)		СОЕ, мг-экв./г Сумма по аминогруппам		СОЕ, мг- экв./г (-COOH)	
	Без ГА	С ГА	Без ГА	С ГА	Без ГА	С ГА	Без ГА	С ГА	Без ГА	С ГА
0.25	0.086	0.086	0	0.02	0.17	0.15	0.17	0.17	0	0.017
0.66	0.074	0.2	0.02	0.69	0.54	1.1	0.56	1.82	0.21	0.09
1	0.086	0.27	0.05	1.1	0.55	0.98	0.6	2.1	0.18	0.12
2	0.12	0.44	0.53	1.7	1.2	1.7	1.8	3.5	0.05	0.28
3	0.2	0.9	0.72	2.8	1.3	2.3	2.1	5.0	0.05	0.64
6	0.51	0.7	1.6	2.6	1.7	2.8	3.2	5.4	0.15	0.90

Структуру аминированных образцов исследовали с помощью Фурье ИК спектроскопии по пропусканию и отражению

(НПВО). Обнаружены различия в спектрах образцов с ГА и без него в областях 2300-2200 и 1800-1000 см⁻¹. В ИК спектрах ионитов, полученных с гидроксиламином, при малых временах синтеза идентифицированы амидооксимные группы.

Элементный состав полученных образцов анионита определяли на CHNOS элементном анализаторе vario MICRO Cube (Germany). Обнаружено, что ГА заметно увеличивает долю водорода, кислорода и, в меньшей степени, азота в образцах.

Определение степени кристалличности (СК) образцов, представленных в табл. 1, проведено на рентгеновском дифрактометре D8 Advance фирмы Bruker (Германия). При СК исходного Нитрона-Д равной 12,8 %, аминирование в присутствии ГА в течение 6 часов ведет к СК = 0, в то время как такое же аминирование без ГА оставляет в образце СК = 9 %.

Микрофотографии ПАН, сделанные на растровом электронном микроскопе Phenom Pro (Thermo Fisher Scientific), показали значительные различия в диаметре аминированных волокон в зависимости от присутствия ГА.

Литература

1. Способ получения волокнистого полиамфолита : Пат. ВУ15904 / В. С. Солдагов, Е. Г. Косандрович, Д. Е. Мицкевич, А. В. Жилинская, Е. Н. Палховский. Опубл. 30.06.2012.
2. Очистка воздуха от диоксида серы с использованием волокнистых анионитов ФИБАН / Г. В. Медяк [и др.] // Нефтехимия – 2020: материалы III Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск. 2.12–3.12.2020 г. / Минск : БГТУ, 2020. – С. 189–193.
3. Волокнистые аниониты ФИБАН для глубокой очистки воздуха / Г.В.Медяк [и др.] // IV Байкальский материаловедческий форум : материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, Улан-Удэ – оз. Байкал. 1–7.07.2022 г. / Улан-Удэ : Изд. Бурятского научного центра СО РАН, 2022. – С. 362-363.
4. Механизм каталитического влияния гидроксиламина на реакцию полиакрилонитрила с азотсодержащими основаниями / Д. А. Гафурова [и др.] // ЖФХ. – 2014. Т. 88, № 11. С. 1851–1854.
5. Каталитический способ получения полиамфолитов на основе полиакрилонитрильного волокна / П. В. Нестеренок [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. – 2014. № 4. С. 80–87.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИГНИНА В КАЧЕСТВЕ ПРИРОДНОГО АНТИОКСИДАНТА ДЛЯ ПОЛИЭТИЛЕНА

Воробьева Е. В.^{a)}, **Агабеков В. Е.^{b)}**

*a) Гомельский государственный университет
им. Ф. Скорины, г. Гомель, Беларусь*

*b) Институт химии новых материалов НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь*

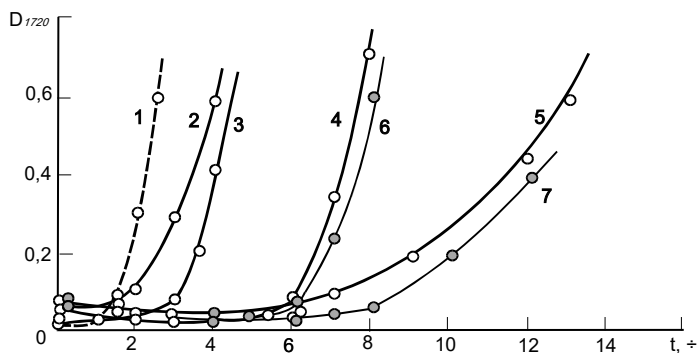
Полиолефины в тонкопленочном состоянии легко подвержены процессам окисления, поэтому для стабилизации структуры в их состав вводят антиоксиданты. Вводимые синтетические антиокислительные добавки токсичны и представляют собой опасность для окружающей среды и живых организмов. В настоящее время активно ведутся исследования по использованию природных антиокислительных веществ для ингибирования окислительных процессов в полимерных пленках [1]. Ранее нами были проведены исследования по стабилизации структуры тонких пленок полиэтилена природными соединениями [2], растительными и грибными экстрактами [3]. Лигнин, учитывая его химическую структуру, потенциально обладает антиокислительной активностью. Однако работы по изучению его антиокислительных свойств в составе полимерных материалов немногочисленны [4]. Это связано с тем, что лигнин имеет нерегулярное строение и термодинамически плохо совместим с полимерной матрицей. *Цель* работы – изучить антиокислительные свойства гидролизного лигнина, как природного высокомолекулярного антиоксиданта, в составе полиэтиленовых пленок.

В исследованиях использовался порошкообразный нестабилизированный полиэтилен низкого давления ПЭНД (ГОСТ 16338-85) и порошок гидролизного лигнина («Полифам» ОДО «Радмедтех» размер частиц 20÷120 мкм; «Лигносорб» ОАО «Бобруйский завод биотехнологий», размер частиц 20÷60 мкм). Экспериментальные образцы полимерных пленок толщиной 100 мкм из-

готовавливали методом термического прессования, термоокислительные проводили при температуре 150° С. Контроль за процессом окисления осуществляли методом ИК-спектроскопии (Vertex 70, «Brüker»). Степень окисления полимерных пленок определяли по оптической плотности полосы поглощения 1720 см⁻¹, относящейся к валентным колебаниям карбонильной группы (продукты процесса окисления). Термоокислительную стойкость образцов и антиокислительное влияние лигнина оценивали по продолжительности индукционного периода окисления (ИПО).

Показано, что полимерные пленки с порошком гидролизованного лигнина (1–7 % масс.) окисляются медленнее по сравнению с пленками ненаполненного полиэтилена. Антиокислительное влияние лигнина на процесс окисления полимерной пленки выражено слабо: для самого высоконаполненного образца, содержащего 7 % масс. лигнина, ИПО составил около 8 часов (рисунок).

Известно, что лигнин хороший адсорбент, поэтому для улучшения его антиокислительного влияния на процесс окисления полимера проведено модифицирование порошка лигнина путем адсорбции аскорбиновой кислоты и резорцина на поверхности его частиц. Проведенное модифицирование улучшило антиокислительные свойства лигнина, ИПО экспериментальных образцов увеличился на 5–8 ч, в зависимости от концентрации лигнина.



Накопление карбонильных групп в полиэтиленовых пленках, содержащих 0 (кривая 1); 1 (2); 3 (3); 5 (4 и 6), 7 (5 и 7) % гидролизованного лигнина, при термоокислении; кривые 2-5 — наполнитель «Полифам», кривые 6, 7 — наполнитель «Лигносорб»

Ранее нами было выявлено, что экстракты лишайников обладают антиокислительными свойствами, поэтому они также применялись для модифицирования лигнина. Выделены ацетоновые экстракты лишайников пармелия бороздчатая (*Parmelia sulcata*), эверния сливовая (*Evernia prunastri*); гипогимния вздутая (*Hypogymnia physodes*). Экстракцию проводили в течение 7 суток, соотношение массы таллома к объему экстрагента составляло 0,5:6 (масс./объем., г/мл), введение полученного экстракта в полиэтилен проводили в соотношении 5:1 (объем./масс., мл/г). При введении в полимер полученные экстракты показали высокую антиокислительную активность. ИПО полимерных пленок, содержащих экстракт *Parmelia sulcata*, составили 8 ч, *Evernia prunastri* – 13 ч, *Hypogymnia physodes* – 16 ч. Раздельное введение экстрактов и порошка лигнина в полиэтилен аддитивно увеличивают термоокислительную стойкость формируемых образцов полиэтиленовых пленок. Модифицирование лигнина экстрактами лишайников и последующее его введение в полимер привело к резкому снижению антиокислительных свойств добавки (ИПО образцов в пределах 1÷2 ч).

Литература

1. Bridson J. H. Polymeric flavonoids processed with co-polymers as UV and thermal stabilisers for polyethylene films / J. H. Bridson [et al.] // *Polymer Degradation and Stability*. – 2015. – Vol. 122. – P. 18–24.
2. Воробьева Е.В. Термоокислительная стойкость полиэтиленовых пленок, содержащих медь и аскорбиновую кислоту // *Журнал прикладной химии*. – 2021. – № 9, Т. 94.– С. 27-35.
3. Воробьева Е. В. Антиокислительные свойства экстрактов трутовика окаймленного *Fomitopsis pinicola* в составе полиэтиленовых пленок» // *Химия растительного сырья* / Е. В. Воробьева. – 2023. – № 2. – С. 143–151.
4. Chen F. Sheet-like lignin particles as multifunctional fillers in polypropylene / F.Chen [et al.] // *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. – 2016. – Vol. 4, № 9. – P. 4997–5004.



УЛУЧШЕНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ТКАНЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИОКСАДИАЗОЛЬНЫХ ВОЛОКОН

**Матвеевко Ю. В.^{a)}, Шатилов Ю. С.^{b)},
Агабеков В. Е.^{a)}, Рогачев А. А.^{a)},
Игнатович Ж. В.^{a)}**

*a) Институт химии новых материалов НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь*

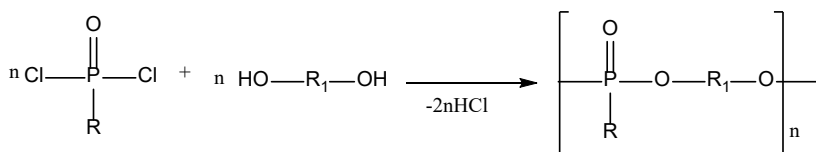
b) ИЦ «НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси»

Ткани из волокна Арселон® обладают уникальными свойствами: высокая износостойкость, кислородный индекс не менее 28, сохранение свойств после многократных стирок, прочность на истирание, раздирание и разрыв, возможность постоянного применения при температуре 300 °С, отсутствие плавления, уровень равновесной влажности как у тканей из хлопка либо вискозы (11–12 %). Использование ткани из волокна Арселон для изготовления защитной одежды ограничивается ввиду наличия остаточного тления – неактивной формы горения материалов, медленно распространяющейся по текстильному полотну после удаления источника открытого пламени. Поэтому возникла необходимость дальнейшего модифицирования волокна Арселон-бром, позволяющей достичь соответствия требованиям СТБ 1971-2009 «Система стандартов безопасности труда. Одежда пожарных боевая. Общие технические условия». Известно, что процессу карбонизации полимеров и образованию препятствующего доступу кислорода смолообразного остатка, особенно способствуют как наиболее безопасные фосфорсодержащие и фосфор-азотсодержащие антипирены. Они широко используются в производстве модифицированных полиэфирных, гидратцеллюлозных и некоторых других волокон, прежде всего при отделке соответствующей ткани или волокна. Известные фосфорсодержащие антипирены имеют недостатки, существенно ограничивающие их применение: слабая адгезия к материалам не имеющих в своем составе полярных групп, не-

высокая устойчивость к гидролизу и вследствие этого снижение огнезащитных свойств обработанных ими материалов после стирок и химчисток. Для мономолекулярных фосфорорганических материалов характерна токсичность, так, наиболее широко применяемый фосфорорганический антипирен, трикрезилфосфат, относится к 2 классу опасности (высокоопасные вещества). Ряд эксплуатационных свойств фосфорорганических соединений улучшается при переходе к полимерным или олигомерным соединениям.

Ряд эффективных современных антипиренов (Antiblaze CU; Rhodia, Pekoflam TS; Clariant Aflammit PE др.) являются полимерными соединениями с высоким содержанием фосфора, которые хорошо совместимы с основным полимером, отличаются более высокой стойкостью к различным внешним воздействиям. Известные фосфорсодержащие антипирены, по результатам испытаний в лаборатории ОАО «СвелогорскХимволокно», неэффективны для поверхностной обработки полиоксиадиазольных волокон, не имеющих в своем составе полярных групп. В связи с этим разработка устраняющих остаточное тление тканей из модифицированных полиоксиадиазольных волокон весьма актуальна.

С этой целью получали олигомерные полиалки(арил)фосфаты путем взаимодействия хлороксида фосфора с диолами, затем с одноатомными спиртами для формирования линейных олигомеров.



Обработка этими соединениями ткани из волокна Арселон позволила полностью устранить остаточное тление, но после мокрых обработок (5 стирок) защитный эффект ослабевал и материал не соответствовал нормативным показателям. Дополнительное нанесение закрепляющих составов на основе мочевины

формальдегидных смол или галогенсодержащих полимеров не обеспечило необходимой устойчивости полученных покрытий.

Для улучшения фиксации полиалки(арил)фосфатов применяли методы активации поверхности ткани Арселон, включающие травление перекисными соединениями, УФ-облучение и плазмохимическую обработку.



Оптимальный результат получен в результате комплексной обработки, включающей модификацию поверхности ткани барьерным разрядом последовательных нанесении антипирена и закрепляющего состава. Достигнуто время остаточного тления 0 с после 5 стирок (Отчет об испытаниях №52/03-1 от 13.07.2023).

Литература

1. К.Е.Перепелкин. Химические волокна: развитие производства, методы получения, свойства, перспективы Санкт-Петербург, 2008.
2. Лакеев С.Н., Майданова И.О., Ишалина О.В. Основы производства пластификаторов Учебное пособие Уфа 2015.
3. G.M.Kosolapoff. Organophosphorus compounds Wiley 1950.



ПОВЫШЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НЕТКАНЫХ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ МАСОК

**Авдеева Е. В.^{а)}, Михалко А. М.^{б)},
Петкевич А. В.^{а)}, Дудчик Н. В.^{с)}, Рогачев А. А.^{а)},
Агабеков В. Е.^{а)}**

*а) Институт химии новых материалов НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь*

*б) РУП «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Беларусь*

*с) Межд. Китайско-Белорусская научная лаборатория
вакуумно-плазменных технологий, Гомельский
гос. университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь*

Использование полипропиленовых нетканых материалов в медицинских целях обусловлено их нетоксичностью, микропористостью, воздухопроницаемостью и гидрофобностью. В настоящее время, одним из путей повышения фильтрующих и антибактериальных свойств являются методы модификации, позволяющие расширять сферу применения нетканых материалов. В данной работе рассмотрена возможность нанесения однослойных и многослойных покрытий на основе политетрафторэтилена методом электронно-лучевого диспергирования на поверхность полипропиленовых волокон с целью получения антисептического фильтрующего материала для медицинских масок.

Формирование покрытий производили из газовой фазы, генерируемой электронно-лучевым диспергированием (ЭЛД) политетрафторэтилена (PTFE) (Sigma Aldrich), порошка серебра (Sigma Aldrich), в вакууме. Толщина сформированных покрытий составила 650 нм PTFE и 650 нм PTFE -10 нм Ag.

Оценка эффективности воздушной фильтрации (ЭВФ) проводилась на экспериментальном лабораторном стенде [1]. Эффективность бактериальной фильтрации (ЭБФ) определялась согласно межгосударственному стандарту [2] с использованием

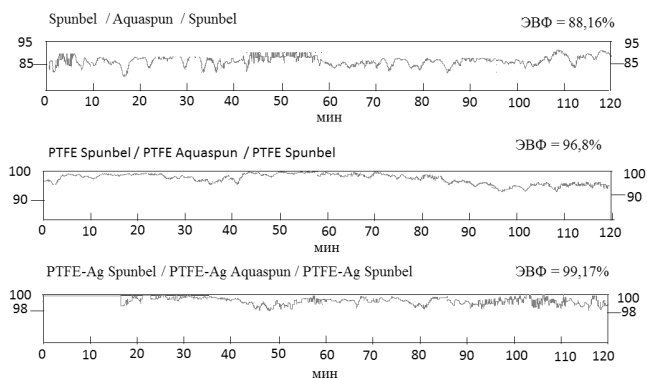
штамма *St. aureus* ATCC 6538. Антибактериальную активность образцов исследовали в условиях прямого контакта со стандартизированными тест-культурами (*E. coli* ATCC 11229, *St. aureus* ATCC 6538, *Kl. pneumoniae* ATCC 13883) на поверхности агаровой среды в соответствии с ISO/IEC [3].

Модифицирование Aquaspun слоями PTFE позволяет увеличить ЭВФ с 69,75 % до 85,11 %. Многослойное покрытие PTFE-Ag увеличивает ЭВФ с 69,75 % до 87,35 % с сохранением эффекта до 2 часов.

Исходные образцы Aquaspun и Spunbel не проявляют антибактериальной активности, что подтверждается отсутствием ингибирования роста бактерий в зоне контакта с образцом.

При помещении образцов с покрытиями PTFE и PTFE – Ag на слой питательной среды, привитой испытуемой тест-культурой (*St. aureus*, *E. coli*, *Kl. pneumoniae*), задержки роста колоний микроорганизмов вокруг образцов не наблюдали. Подтверждена нетоксичность модифицированных материалов, выживаемость клеток фибробластов человека составила 103 % для PTFE-покрытий и 107 % – PTFE-Ag при норме 70 %.

Разработаны трехслойные системы из слоев: (SpunBel / AquaSpun / Spunbel), (PTFE+SpunBel / PTFE+AquaSpun / PTFE+SpunBel), (PTFE-Ag+SpunBel / PTFE-Ag+AquaSpun / PTFE-Ag+SpunBel) (рисунки).



Кинетика фильтрации масок из оригинальных и модифицированных Aquaspun и Spunbel

Модифицирование образцов методом ЭЛД способствует увеличению ЭВФ в системе (PTFE- Spunbel / PTFE- Aquaspun / PTFE- Spunbel) с 88,16 % до 96,8 %; в системе (PTFE-Ag Spunbel / PTFE-Ag Aquaspun / PTFE-Ag Spunbel) с 88,16 % до 99,17 %.

Показана эффективность применения фильтрационных модифицированных материалов. Для системы (PTFE- Spunbel / PTFE- Aquaspun / PTFE- Spunbel) ЭВФ составила 99,2 %, для системы (PTFE-Ag Spunbel / PTFE-Ag Aquaspun / PTFE-Ag Spunbel) 99,7 %. Модифицирование материалов PTFE способствует преодолению порогового значения ЭВФ в 95 % необходимого для медицинских масок.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ X21УЗБГ-030.

Литература

1. Modification of nonwoven polymer materials for increasing of their filtration and antibacterial properties Ekaterina Avdeeva, Anna Petkevich, Alexey Mikhalko, 06 September 2023 <https://doi.org/10.1002/pen.26489>
2. E. Pinho, L. Magalhães, M. Henriques, and R. Oliveira, “Antimicrobial activity assessment of textiles: Standard methods comparison,” *Annals of Microbiology*, vol. 61, no. 3, pp. 493–498, Sep. 2011, doi: 10.1007/s13213-010-0163-8.
3. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Межгосударственный стандарт. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. – Взамен ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009. – Введ. 01.09.2019. – Москва: Изд-во стандартов, 2019. – 26 с.



РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ МОДИФИКАЦИИ ВОЛОКОН И ТКАНИ АРСЕЛОН ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ОГНЕЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

**Матвеевко Ю. В.^{а)}, Игнатович Ж. В.^{а)},
Вовк В. И.^{б)}, Терешков В. А.^{в)}, Шатилов Ю. С.^{в)},
Рогачев А. А.^{а)}, Агабеков В. Е.^{а)}**

*а) Институт химии новых материалов НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь*

б) ОАО «СветлогорскХимволокно»

в) ИЦ «НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси»

Основные направления работ для отработки технологии модифицирования термостойких полиоксадиазольных волокон Арселон для улучшения их эксплуатационных характеристик (повышения термостойкости и кислородного индекса) и уменьшения времени тления включали:

– активацию поверхности волокна и ткани Арселон физическими и химическими методами, в том числе при УФ облучении, в условиях барьерного разряда, с использованием перекисных соединений;

– получение модифицированного волокна Арселон, ПОД-сополимеров, содержащих в своем составе структурные фрагменты с полярными группами;

– определение оптимальных составов фосфорсодержащих антипиренов и азотсодержащих полимеров для огнезащитной отделки.

Отработаны технология синтеза отечественных антипиренов – полифосфорных эфиров и амидов, способы их нанесения на поверхность и в массу полимера для повышения их адгезии к поверхности и устойчивости к стирке.

Наработаны и переданы в ОАО «СветлогорскХимволокно» модифицирующие добавки арилендикарбоновые кислоты. В лаборатории предприятия получены образцы ПОД-сополимеров

с содержанием модифицирующих добавок 10 мольных процентов, из которых сформированы пленки. По результатам испытаний установлено, что только сополимеры с 2-гидрокси-4,4'-бифенилдикарбоновой кислотой и 2-амино-4,4'-бифенилдикарбоновой кислотой формируют качественные пленки и могут быть использованы для формирования волокна.

Разработаны препаративные методики получения модификаторов – полимерных эфиров фосфорной кислоты, предназначенных для внесения в массу полиоксиадиазольных волокон на стадии останова синтеза и для поверхностной обработки ткани Арселон. Установлены зависимости, влияющие на степень полимеризации и на физические свойства. Наиболее оптимальной являются методики Б и В, позволяющие получать полимерные эфиры фосфорной кислоты с выходом 63÷82 %.

Отработана методика получения полиамидов фосфорных кислот, которые представляют интерес ввиду их огнезащитных свойств и высокой устойчивости к гидролизу. Полученные образцы амидов нерастворимы в воде и органических растворителях и могут быть использованы для внедрения в массу полимера в условиях формирования полиоксиадиазольного волокна, позволяющие получать полимерные амиды фосфорной кислоты с выходом 63,5-64 %. Нарботаны и переданы на ОАО «СветлогорскХимволокно» 6 образцов модификаторов по 10 г. Оптимизирована и масштабирована методика получения образца ГБФ-4. Нарботан образец антипирена в количестве 300 г, проведен синтез ПОД сополимера на модульной установке ОАО «СветлогорскХимволокно» и нарботан образец 500 г нити.

Оптимизирована и масштабирована методика и получены 2 образца антипирена ГБФ-4 и АБФ-5 в количестве 150 г каждого, которые переданы для проведения синтеза полимера на модульной установке ОАО «СветлогорскХимволокно» и формирования 500 г нити.

Предложен метод 3-х ступенчатой огнезащитной обработки, включающий:

I активацию поверхности ткани в плазме барьерного разряда, II нанесение антипиренов – полимерных эфиров фосфорной

кислоты на арселоновую ткань из раствора, III фиксацию антипирена гидрофобизирующим составом на основе промышленно производимых фторкаучуков.

Проведена поверхностная обработка ткани Арселон синтезированными образцами алифатических ПЭФК, подготовлены обработанные образцы ткани Арселон с общей площадью 4 м² и по Договору 52/1045Д от 7.08.2023 переданы для тестирования аккредитованной лаборатории МЧС НИИ ПБ и ЧС для определения их устойчивости к воздействию открытого пламени (длительности остаточного горения и тления) и устойчивости защитных свойств материала к мокрым обработкам (стиркам). Согласно Протоколу испытаний № 04-52/883П от 4.09.2023 г. для образцов ткани определена устойчивость к воздействию открытого пламени (время остаточного горения, с/ время остаточного тления, с) при времени зажигания образцов 5 секунд составляет **0/0**, 10 секунд **0/0**, 15 секунд **0/0**. После 5 циклов стирки образцов по ГОСТ 30157.1-95 устойчивость к воздействию открытого пламени (время остаточного горения, с / время остаточного тления, с) при времени зажигания образцов 5 секунд составляет **2.6÷4.3/0**, 10 секунд **0/0**, 15 секунд **0/0**.



3D-ПЕЧАТЬ ГИДРОГЕЛЯМИ НА ОСНОВЕ ПЕКТИНА И АГАРОЗЫ С КЛЕТКАМИ *CHLORELLA VULGARIS*

**Игнатович Я. С., Лазнев К. В.,
Игнатович Ж. В., Рогачев А. А.,
Агабеков В. Е.**

*Институт химии новых материалов НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь*

На основе пектинового и агарозного гидрогелей разработаны биоматериалы для получения трехмерных культур одноклеточных зеленых водорослей хлорелла методами 3D-печати и отливки в формах. Изготовлены полусинтетические аквариумные растения, состоящие из содержащих живые клетки хлореллы листоподобных гидрогелевых пластинок, закрепленных на искусственном каркасе. Технология имеет потенциал как в области декорирования интерьеров, так и в биологии для управления экспериментальным рационом растительноядных рыб и их пищевым поведением, с возможностью варьировать состав и органолептические свойства корма по желанию исследователя.

Материалы и методы. Клетки *Chlorella vulgaris* культивировали под прямым естественным солнечным освещением в стеклянной посуде в слое воды 5 см с ежедневным перемешиванием и еженедельным замещением половины объема культуры кипяченой водопроводной водой. Раз в две недели добавляли комплексное удобрение для водных растений. Для получения биоматериалов клетки осаждали на центрифуге и смешивали осадок с гидрогелем в соотношении 1:20 – 1:50. В качестве гелеобразующих гидрофильных полимеров применяли яблочный пектин Classic AB901 («Herbstreith & Fox», Германия) со степенью деэстерификации 35÷42 % и агарозу «Foodchem» (Китай). Концентрация полимеров составляла 30–50 г/л. Изделия из биоматериалов получали способами 3D-печати и отливки в от-

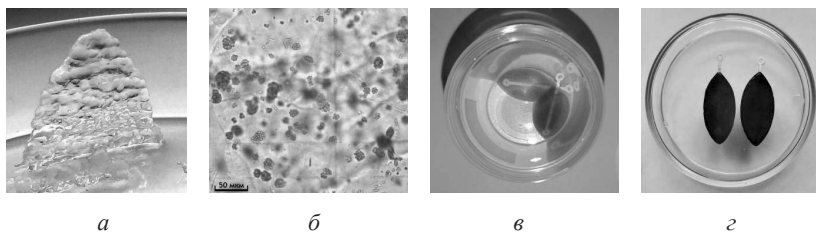


Рис. 1. Печать агарозным гидрогелем, находящимся в процессе застывания (а), результат пролиферации хлореллы в агарозном гидрогеле в течение 5 дней (б), изделия из пектинового гидрогеля с клетками хлореллы сразу после получения (в) и после 21 дня культивирования на свету (з)

крытых формах. Для печати использовали 3D-принтер Wanhao Duplicator 4S со шприцевым экструдером и наконечником внутренним диаметром 0,5 мм. Печать агарозным гелем вели на воздухе, пектиновым – в поддерживающем гидрогеле, содержащем 0,4 % агарозы и 0,04 М CaCl_2 . Формы для отливок получали при застывании гидрогеля, содержащего 30÷50 г/л агарозы и 0,2М CaCl_2 , вокруг моделей, напечатанных на 3D-принтере из термопласта ABS. Агарозный гель перед смешиванием с культурой хлореллы охлаждали до 55 °С и далее быстро до комнатной температуры в процессе печати или отливки.

Результаты и обсуждение. Межслоевая адгезия и точность воспроизведения формы модели при печати пектиновым гелем аналогичны таковым при использовании альгинатного геля [1]. При печати агарозным гелем, находящимся в процессе застывания (температура 50 °С), межслоевая адгезия обеспечивает формирование вертикальной стенки толщиной в один слой по горизонтали (рис. 1, а), а усадка изделия не превышает 1 %. В листовидных гелевых 3D-культурах хлореллы с течением времени происходил рост биомассы, что подтверждалось данными микроскопии, выявившими образование клеточных колоний-сфероидов (рис. 1, б) и проявлялось в увеличении интенсивности зеленой окраски изделий (рис. 1, в, з). После высушивания и двухнедельного хранения изделия восстанавливали исходную форму и объем в течение 14 дней, жизнеспособность водорослей при этом частично сохранялась.

Выводы. Отработан температурный режим 3D-печати агарозным гидрогелем, обеспечивающий сохранение высокой жизнеспособности клеток хлореллы. Получены биоматериалы на основе гидрогелей пектина и агарозы, в которых клетки *Chlorella vulgaris* способны функционировать и пролиферировать.

Литература

1. Лазнев К.В., Авдеева Е.В., Матиевский К.А., Мусская О.Н., Крутько В.К., Рогачев А.А. 3D-печать тканеинженерных каркасов // Альтернативные источники сырья и топлива: сборник научных трудов. – Выпуск 5. – Минск, 2023. – С. 74–78.



**ТЕЗИСЫ
СТЕНДОВЫХ
ДОКЛАДОВ**



РЕАКЦИЯ ДИЛЬСА-АЛЬДЕРА МЕЖДУ БИС-ФУРИЛ ДИЕНАМИ И ЭФИРАМИ ФУМАРОВОЙ КИСЛОТЫ В УСЛОВИЯХ СВЕРХВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ

Подрезова А. Г., Никитина Е. В.

Российский университет дружбы народов,

117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6.

E-mail: alexandra.podrezova@mail.ru;

enikitina@sci.pfu.edu.ru

В органическом синтезе широко используются домино и тандемные внутримолекулярные реакции Дильса-Альдера в ряду фурана, также известные как IMDAF реакции. Эти реакции просты в экспериментальном оформлении и надежны в использовании, обладают контролируемой стереохимией, поэтому широко применяются в синтетической и прикладной химии. Продукты таких реакций часто используются для создания функционально замещенных нафталинов, индолов, изоиндолов, хинолинов и изохинолинов.

Следует отметить, что большая часть низкомолекулярных производных фурана (в том числе и использованных в этой работе) синтезируется на базе фурфурола, 5-гидроксиметилфурфурола и пироглишевой кислоты – веществ доступных в неограниченном количестве путем переработки биомассы, отходов сельского хозяйства и деревообрабатывающей промышленности.

Ранее нашей группой была исследована реакция Дильса-Альдера бис-фурил диенов с различными типами диенофилов: алкинами, аринами, ангидридом и амидами малеиновой кислоты [1–3].

Для систематического исследования реакционного профиля такого типа диенов в реакциях [4+2] циклоприсоединения в настоящем сообщении рассмотрено взаимодействие бис-фурил диенов (1) и эфиров фумаровой кислоты (2). При комнатной температуре и при нагревании до 230 °С в различных растворителях

взаимодействие между субстратами **1** и **2** фактически не наблюдается.

Известно, что перциклические межмолекулярные реакции имеют значительный отрицательный активационный объем, поэтому помимо термической активации реакции Дильса-Альдера, также возможна и активация давлением (гипербарические реакции) [4]. В этой связи нами были опробованы условиях сверхвысоких давлений.

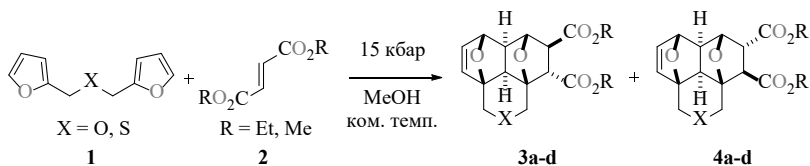


Схема 1. Реакция Дильса-Альдера между *бис*-фурил диенами (**1**) и эфирами фумаровой кислоты (**2**)

В качестве модельной была выбрана реакция между дифурфуриловым эфиром (X = O, 1 экв) и диэтилфумаратом (R = Et, эквимольно) которая осуществлялась при комнатной температуре в метаноле. Согласно данным ¹H ЯМР сырых реакционных смесей, оптимальными условиями является выдержка под давлением 15 килобар в течение двух дней (таблица 1). Увеличение времени выдержки приводит лишь к незначительному росту конверсии эфира **1a**.

Таблица 1. Оптимизация условий реакции

Условия	Давление, кбар	Время выдержки, дни	Конверсия <i>бис</i> -диена 1a , %	Соотношение изомеров 3a:4a , %
1	15	2	88	70:30
2	15	4	92	66:34
3	15	1	75	67:33
4	10	2	57	67:33
5	5	2	—	—

Смеси диастереомеров **3** и **4** были разделены при помощи колоночной хроматографии и выделены в индивидуальном виде

в виде твердых и стабильных при атмосферном давлении соединений (таблица 2), строение которых подтверждено с помощью ^1H и ^{13}C ЯМР спектроскопии.

Таблица 2. Полученные аддукты 3 и 4

	X	R	Соотношение изомеров 3 и 4, %	Конверсия бис-диенов, %
a	O	Et	70:30	88
b	O	Me	67:33	45
c	S	Et	62:38	75
d	S	Me	63:37	39

Все реакции под давлением проводились в тефлоновой ампуле объемом 21 мл, в стальной барокамере типа поршень-цилиндр, установленной на кафедре органической химии Российского университета дружбы народов. Загрузки исходных эфиров фумаровой кислоты находились в области $0,30 \div 0,35$ г.

Таким образом, в настоящей работе была продемонстрирована принципиальная возможность осуществления тандемной меж/внутримолекулярной реакции Дильса-Альдера бис-фуранов с эфирами фумаровой кислоты.

Литература

1. Borisova K.K. et al. Classical Example of Total Kinetic and Thermodynamic Control: The Diels-Alder Reaction between DMAD and Bis-furyl Dienes // Journal of Organic Chemistry. American Chemical Society, 2018. Vol. 83, № 8. P. 4840–4850.
2. Kvyatkovskaya E.A. et al. Dehydrobenzene in the Reaction of a Tandem [4+2]/[4+2] Cycloaddition with Linear bis-furyldienes // Chemistry of Heterocyclic Compounds (N Y). Springer, 2021. Vol. 57, № 9. P. 949–961.
3. Borisova K.K. et al. Diels-Alder reactions between hexafluoro-2-butyne and bis-furyl dienes: Kinetic: versus thermodynamic control // Chemical Communications. Royal Society of Chemistry, 2018. Vol. 54, № 23. P. 2850–2853.
4. Rulev A.Yu. and Zubkov F.I. Hyperbaric reactions in organic synthesis. Progress from 2006 to 2021. Organic and Biomolecular Chemistry. Royal Society of Chemistry, 2022. Vol. 20, №12. P. 2320–2355.



ВОДОРАСТВОРИМЫЙ ПОЛИМЕР НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА

Пузин Ю. И.^{a,b)}, Коровина О. А.^{b)}

a) Санкт-Петербургский горный университет, Россия

b) Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия

Несмотря на то, что на Россию в 2021 году приходилось всего около 3 % мирового производства полимеров, проблема переработки и утилизации отходов пластика и композиционных материалов, охраны окружающей среды, является весьма актуальной. При этом нельзя забывать, что высокомолекулярные соединения представляют собой высокоэнергоемкие вещества, рационально и эффективно использовать энергетический потенциал которых – одна из важнейших задач химии полимеров и химической технологии. Наиболее ценным и перспективным является не столько разрушение полимеров, сколько превращение их в новые, ценные вещества, которые могут быть использованы в различных областях промышленности и сельского хозяйства [1, 2].

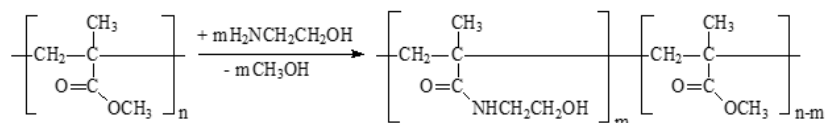
Имеется несколько способов переработки и утилизации отходов полимерных материалов и композитов. Прежде всего, это их разрушение путем деструкции (чаще всего, термической или термоокислительной). Для целого ряда полимеров (ПВХ, полиамиды и др.) используют рециклизацию – вторичное использование отходов данного полимера при выпуске композиционных изделий из него [3]. Некоторые полимеры (полиметакрилаты, полистирол, фторсодержащие полимеры) при термическом воздействии деполимеризуются, образуя мономеры, которые можно использовать вновь для синтеза полимера.

Одним из важных методов переработки и утилизации полимеров является их модификация путем полимераналогичных превращений, позволяющая получать новые продукты на основе промышленных полимеров, в том числе их отходов и композитов. Например, под руководством академика В.В.Коршака был

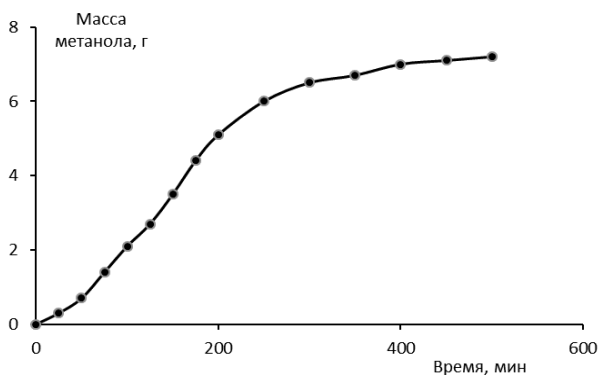
разработан процесс аминолита ряда полиэфиров и получения новых полиамидоэфиров [4]. Макромолекулы последних содержат как амидные, так и сложноэфирные связи и приобретают способность активно набухать и растворяться в водных средах.

В настоящее время существует несколько технологий, которые направлены на получение водорастворимых полимеров на основе полиметилметакрилата (ПММА). Так, описано переамидирование аминами ПММА с получением продуктов, способных препятствовать образованию асфальтеносмолистопарафиновых отложений (АСПО) [5].

Нами осуществлено переамидирование отходов промышленного ПММА обработкой моноэтаноламином в растворителе, протекающее по следующей схеме:



В ходе реакции выделяется метанол, который может улавливаться и за изменением количества которого можно проследить, тем самым оценивая конверсию полимера. В результате были получены кинетические зависимости, одна из которых представлена на рисунке.



Кинетическая зависимость выделения метанола.
Начальная масса полимера 30 г; $T = 80^\circ\text{C}$.

Видно, что сначала скорость выделения спирта растет, достигает максимума и в последующем увеличивается очень медленно.

Вероятно, в начале процесс ускоряется вследствие изменения глобулярной структуры полимера, когда доступность функциональных групп растет из-за «разворачивания» макромолекул.

В ходе модификации увеличивается число полярных групп в молекулах, и полимер приобретает способность набухать, а затем и растворяться в воде и водных растворах солей. Поэтому, по мере протекания процесса отбирали пробы и испытывали их на способность к набуханию и растворению в воде.

Обнаружено, что уже при конверсиях 10÷12 % (около 60 минут реакции) полимер прекращает коагулировать и начинает набухать в воде, а при конверсии 20÷22 % (100 минут) – растворяется в ней. При конверсии 60 % (200 минут) наблюдается быстрое и полное растворение модифицированного полимера.

Таким образом, в результате модификации получен водорастворимый продукт, причем образование раствора наблюдается уже при конверсиях 20÷25 %. Повышенное содержание карбоновых и азотсодержащих функциональных групп делает продукт ценным органическим удобрением комплексного действия.

Литература

1. Бабунова М.В., Прочухан Ю.А. Способы утилизации отходов полимеров // Вестник Башкирского Университета. – 2008. – Т.13, №4 – С.875.
2. Вторичная переработка пластмасс / под ред. Ф. Ла Мантия; пер. с англ. под ред. Г.Е.Зайкова. – СПб.: Профессия, 2009. – 400 с.
3. Липик, В. Т. Рециклинг и утилизация полимерных отходов / В.Т.Липик, Н.Р.Прокопчук. – Минск: БГТУ, 2008. – 260 с.
4. Коршак В.В., Фрунзе Т.М. Синтетические гетероцепные полиамиды. – М.: АН СССР, 1962. – 523 с.
5. Пузин Ю.И., Пузин П.Ю., Мастобаев Б.Н. Особенности переамидирования полиметилметакрилата разной микроструктуры // Промышленное производство и использование эластомеров. – 2020. – № 3. – С. 8-13.



СОВМЕЩЕННЫЙ В ОДНОМ РЕАКТОРЕ ПРОЦЕСС ДЕГИДРАТАЦИИ СПИРТОВ И АЛКОКСИКАРБОНИЛИРОВАНИЯ АЛКЕНОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ

**Севостьянова Н. Т., Баташев С. А.,
Родионова А. С., Козленко Д. К.**

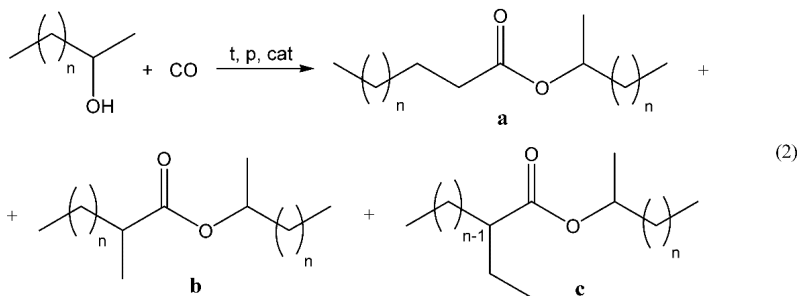
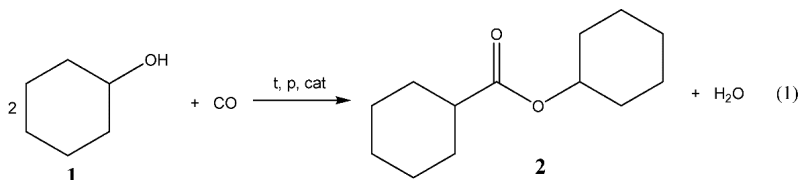
*Тульский государственный педагогический
университет им. Л. Н. Толстого, г. Тула, Россия*

Процессы карбонилирования с участием СО приводят к образованию разнообразных органических продуктов. Основным источником СО является синтез-газ, который можно получать из альтернативного сырья – отходов биомассы и каменного угля, запасы которого превосходят запасы нефти. Карбонилированием спиртов и алкоксикарбонилированием ненасыщенных соединений можно получать сложные эфиры – добавки к различным видам топлив, полупродукты в синтезе лекарственных субстанций, пластификаторы и компоненты косметических средств.

Карбонилирование спиртов, осуществляемое в основном в присутствии каталитических систем на основе соединений Rh или Ir (процессы Monsanto и Cativa для получения уксусной кислоты из метанола и СО) с добавками HI или алкилиодидов, приводит к образованию карбоновых кислот, сложных эфиров, а также побочных продуктов – углеводов и простых эфиров [1]. Непосредственно карбонилированию, как правило, подвергаются не спирты, а алкилиодиды, поэтому осуществить карбонилирование спиртов в отсутствие иодистых соединений проблематично. Наиболее активными и селективными катализаторами алкоксикарбонилирования алкенов являются системы на основе соединений Pd с добавками свободных органофосфинов и сильных протонных кислот, в присутствии которых реакция сопровождается образованием лишь изомер-

ных сложных эфиров [2]. Как известно, процесс алкоксикарбонилирования алкенов, протекающий с разрывом π -связи C–C, энергетически более предпочтителен, чем карбонилирование спирта, для реализации которого необходим разрыв σ -связи C–O. В алкоксикарбонилировании за последние десятилетия был использован широкий ряд ненасыщенных соединений – от C₂ до полимерных [2], в то время как среди спиртов карбонилированию подвергались в основном метанол и этанол [1]. Таким образом, Pd-катализируемое алкоксикарбонилирование алкенов представляется более перспективным способом получения сложных эфиров, однако некоторые спирты доступнее алкенов.

Нами разработаны процессы получения сложных эфиров путем совмещения в одном реакторе кислотного-каталитической внутримолекулярной дегидратации спиртов и последующего алкоксикарбонилирования образующихся алкенов без использования иодистых соединений. При таком подходе не требуется выделение и очистка алкенов как промежуточных продуктов, что упрощает технологию процесса. Существенный недостаток кислотного-каталитической дегидратации спиртов – ее обратимый характер. Однако предлагаемая организация процесса может решить эту проблему. Вовлечение алкена в необратимую реакцию алкоксикарбонилирования является фактором смещения равновесия реакции дегидратации в правую сторону. Однако накопление в системе воды как побочного продукта дегидратации может оказать негативное влияние на алкоксикарбонилирование. При высоких концентрациях воды прогрессируют реакции дезактивации палладиевого катализатора, в частности необратимое образование палладиевой черни [2]. Кроме того, для успешного синтеза сложных эфиров предлагаемым методом скорости дегидратации и алкоксикарбонилирования должны быть соизмеримы. В данной работе осуществлены синтезы сложных эфиров из вторичных спиртов и СО в мягких условиях путем совмещения в одном реакторе дегидратации спиртов C₅–C₉ и алкоксикарбонилирования образующихся алкенов.



В модельной реакции (1) апробирован широкий ряд каталитических систем, включающих палладиевый предшественник, органофосфин и сильную протонную кислоту HA. Добавки солей NaA и KA оказывали положительный эффект на выход целевого продукта **2**. Побочными продуктами являлись циклогексанкарбоновая кислота (процесс (1)) и простые эфиры (процессы (2)). Наибольшую активность и устойчивость к образованию палладиевой черни проявили $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$ и $\text{Pd}(\text{XANTPHOS})\text{Cl}_2$. Среди апробированных сильных кислот HA наибольшая активность с точки зрения выхода целевого продукта установлена для $\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$, $\text{CF}_3\text{SO}_3\text{H}$ и *p*-толуолсульфокислоты с добавками их натриевых солей. Среди апробированных восьми органофосфинов наибольшую промотирующую способность в модельном процессе (1) проявил дифосфин XANTPHOS. В оптимальных условиях выходы продукта **2** составляли более 80 %. Впервые процессы дегидратации вторичных линейных спиртов C_6 , C_7 и C_9 были совмещены в одном реакторе с изомеризационным алкоксикарбонилированием, катализируемым Pd-системами с промотором XANTPHOS (процесс (2)). Эти процессы приводили к образованию изомерных сложных эфиров, среди которых 60–73 % составляли эфиры **a** как продукты присоединения CO

к терминальным алкенам. Проведено сравнительное исследование активности цикlopentанола, циклогексанола, гексанола-2, гептанола-2 и нонанола-2 в совмещенных синтезах соответствующих сложных эфиров. Во всех случаях процесс протекал через промежуточное образование циклоалкенов и алкенов соответственно. Впервые осуществлен совмещенный процесс синтеза нонилдеcanoата из смеси нонанола-1, нонанола-2 и CO. Сделан вывод о более высокой (в 3 раза) активности в этом процессе первичного спирта по сравнению со вторичным спиртом как нуклеофильных агентов на стадии алкоксикарбонилирования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-23-00102, <https://rscf.ru/project/22-23-00102/>.

Литература

1. Севостьянова Н.Т., Баташев С.А. // Журнал прикл. химии.– 2022. – Т. 95, вып. 8. – С. 947–970.
2. Севостьянова Н.Т., Баташев С.А. // Катализ в промышленности. – 2023. – Т. 23, № 1. – С. 37–55.



БИОСОВМЕСТИМЫЕ МАГНИТНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ ФЕРРИТОВ-ШПИНЕЛЕЙ

Петрова Е. Г.^{a)}, Баранова А. С.^{a),b)},
Панибрат О. В.^{c)}, Паньков В. В.^{a)}, Шутова Т. Г.^{d)}

*a) Белорусский государственный университет,
г. Минск*

*b) Ин-т тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН
Беларуси, г. Минск*

c) Ин-т биоорганической химии НАН Беларуси, г. Минск

*d) Ин-т химии новых материалов НАН Беларуси,
г. Минск*

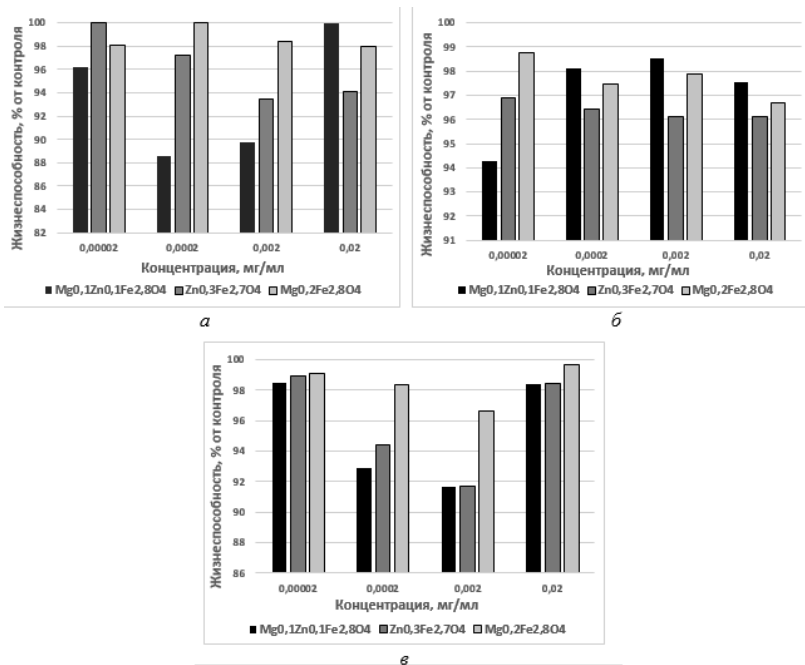
Магнитные наночастицы (НЧ) находят широкое применение в таких отраслях медицины, как диагностика (контрастирование в магниторезонансной томографии), терапия (адресная доставка лекарств, магнитная гипертермия), сепарация биомолекул и др. [1]. Основные требования к НЧ, подходящим для медицинского использования, включают небольшие размеры (до ~40 нм), высокую удельную намагниченность, агрегативную устойчивость и биосовместимость. Наиболее широко распространенными являются материалы на основе магнетита с общей формулой $MeFe_2O_4$ ($Me = Zn, Ni, Co, Mn, Mg$) [2, 3]. При этом состав частиц, условия их получения и использование стабилизирующих оболочек позволяют в широких пределах варьировать магнитные свойства и морфологию наноматериалов.

В литературе описан эффект повышения удельной намагниченности магнетита при частичном замещении ионов железа на цинк ($Zn_xFe_{3-x}O_4$, $x \leq 0,4$) [4]. Кроме того, ранее для стехиометрических ферритов было показано, что использование ионов магния вместо цинка заметно снижает цитотоксические свойства феррита [5]. В данной работе исследовали влияние состава на удельную намагниченность и цитотоксичность наночастиц магнетита, в котором часть ионов железа замещали ионами цин-

ка и/или магния. НЧ составов $Mg_{0,1}Zn_{0,1}Fe_{2,8}O_4$, $Mg_{0,2}Fe_{2,8}O_4$, $Zn_{0,3}Fe_{2,7}O_4$ и Fe_3O_4 получали методом соосаждения при $T \approx 90$ °С, отмывали и высушивали при комнатной температуре. Размеры и морфологию НЧ исследовали методом просвечивающей электронной микроскопии (LEO-1420). Удельную намагниченность насыщения порошков измеряли с помощью вибрационного магнетометра Cryogen Free Measurement System Cryogenic Ltd при комнатной ($T = 300$ К) температуре. Для определения цитотоксичности НЧ в различных концентрациях проводили стандартный МТТ-тест на клеточных культурах MCF-7, HepG2 и РС-3.

Согласно данным ПЭМ, все полученные НЧ отличаются сферической формой и узким распределением по размерам, со средним диаметром, не превышающим 15 нм. Значения удельной намагниченности насыщения для $Mg_{0,1}Zn_{0,1}Fe_{2,8}O_4$, $Mg_{0,2}Fe_{2,8}O_4$ и $Zn_{0,3}Fe_{2,7}O_4$ составили, соответственно, 57, 61 и 71 $A \cdot m^2 \cdot kg^{-1}$, что превысило величину удельной намагниченности магнетита ($49 A \cdot m^2 \cdot kg^{-1}$).

Значения жизнеспособности клеток линий MCF-7, HepG2 и РС-3 определяли в присутствии НЧ различных концентраций ($2 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-2}$ мг/мл). Во всем исследованном диапазоне концентраций жизнеспособность клеток в присутствии наночастиц снижалась незначительно и поддерживалась на уровне не менее 90 %, при этом не наблюдалось строгой зависимости между концентрацией частиц и их цитотоксическим действием (Рисунок). Для сравнения, жизнеспособность клеток в присутствии полученных тем же способом НЧ магнетита с аналогичными концентрациями также находилась в диапазоне $90 \div 99$ % для всех исследованных клеток. Влияние состава порошков на их цитотоксичность оказалось выражено слабее, чем отмечалось ранее для стехиометрических ферритов в [5], что объясняется малым различием составов и низкими степенями замещения ионов Fe^{2+} . Тем не менее, наилучшие значения жизнеспособности клеток всех линий отмечают для состава $Mg_{0,2}Fe_{2,8}O_4$ – не ниже 95 % во всем изученном диапазоне концентраций.



Влияние Mg_{0,1}Zn_{0,1}Fe_{2,8}O₄, Mg_{0,2}Fe_{2,8}O₄ и Zn_{0,3}Fe_{2,7}O₄ на жизнеспособность клеток: а – линии HePG2, б – линии MCF-7, в – PC-3

Таким образом, полученные наночастицы обладают комплексом свойств (размеры менее 15 нм, повышенные по сравнению с магнетитом значения удельной намагниченности и низкая цитотоксичность), делающими их перспективными для разработки материалов медицинского назначения.

Литература

1. Wu, K. Magnetic nanoparticles in nanomedicine: A review of recent advances / K. Wu [et al.] // Nanotechnology. – 2019. – Vol. 30, № 50. – P. 502003.
2. Yuanyuan, M. Applications of magnetic materials separation in biological nanomedicine / M. Yuanyuan [et al.] // Electrophoresis. – 2019. – Vol. 40. – P. 2011–2028.
3. Issa, B. Magnetic nanoparticles: surface effects and properties related to biomedicine applications / B. Issa [et al.] // Int. J. Mol. Sci. – 2013. – Vol. 14. – P. 21266–21305

4. Jang J.-T. Critical enhancements of MRI contrast and hyperthermic effects by dopant-controlled magnetic nanoparticles / J.-T. Jang [et al.] // *Angew. chem.* – 2009. – Vol. 121, № 7. – P. 1260–1264.

5. Петрова Е.Г. Цитотоксические свойства магнитных наночастиц на основе феррита цинка / Е.Г.Петрова и др. // *Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы XIII Международной научно-технической конференции, Минск, 2022.* – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2022. – С. 201–207.



ВЛИЯНИЕ ПРОИСХОЖДЕНИЯ БИОМАССЫ НА ВЫХОД ГИДРОУГЛЯ В ПРОЦЕССЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ КАРБОНИЗАЦИИ

**Максимук Ю. В., Антонова М. В., Крук В. С.,
Курсевич В. Н.**

Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета, г. Минск

Гидротермическая карбонизация (далее ГТК) относится к термохимическим методам конверсии биомассы, который проводится в водной среде при относительно низких температурах (до 300 °С) и давлении до 3,0 МПа. При этом происходит образование обогащенного углеродом лигнит подобного продукта, имеющего большой потенциал и различные сферы применения: твердое топливо, суперконденсаторы, топливные элементы, сорбенты. Наиболее известным и востребованным продуктом ГТК является гидроуголь (hydrochar). В отличие от ископаемых углей, использование таких материалов является устойчивым способом уменьшения антропогенного выброса CO₂.

В литературе с 2009 года наблюдается быстрый рост числа публикаций, связанных с исследованием ГТК. Большинство работ посвящено поиску оптимальных условий проведения процесса с целью увеличения выхода или энергетической ценности получаемых продуктов. Особенность данного исследования заключалась в сравнительном анализе выхода гидроуглей, полученных из различного исходного сырья при проведении ГТК в одинаковых условиях. Основная цель работы – установить закономерности изменения выхода гидроугля для наиболее характерных для Беларуси образцов растительной биомассы.

Процесс ГТК проводили одновременно в двух автоклавах из нержавеющей стали при температуре 205 °С в течение 5 часов, заполняемых на воздухе. Массовое соотношение воды и исходного образца биомассы составило 6:1, начальное значение рН 4

за счет использования катализатора. В качестве исходных образцов использовали аналитические пробы полученные из опилок дуба, сосны, ели, осины, граба; из коры сосны; из сельскохозяйственных отходов: льнокостры, соломы рапса, зерноотходов, жома сахарной свеклы. Выход гидроугля (в %) рассчитывался как соотношение между массой полученного гидроугля и массой исходного образца, умноженное на 100 %, в пересчете на сухое вещество.

Полученные значения выхода гидроуглей изменялись в интервале от 39,5 % для зерноотходов солодовенного производства до 70,7 % для коры сосны. Самый высокий выход гидроугля для образцов из сельскохозяйственной биомассы получен для льнокостры 56,5 %. Выход гидроугля из окоренных образцов сосны (62,8 %) и ели (62,0 %) после удаления из них экстрактивных веществ уменьшается на 2,5 % и 3,0 %, соответственно.

Представлено объяснение значений выхода гидроугля в зависимости от компонентного состава биомассы.



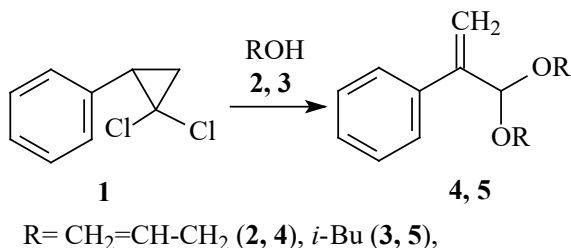
НОВЫЙ СПОСОБ СИНТЕЗА АЦЕТАЛЕЙ АРИЛАКРОЛЕИНА

**Раскильдина Г. З., Борисова Ю. Г., Мусин А. И.,
Злотский С. С.**

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной
технический университет»
E-mail: graskildina444@mail.ru

Алкоголиз арил-гем-дихлорциклопропанов в щелочной среде приводит к ацеталам арилакroleина [1, 2], которые используются в синтезе азотсодержащих соединений, проявляющих противовоспалительные свойства [3].

Продолжая работы в области синтеза ацеталей арилакroleина [4], нами предложено использовать для процесса алкоголиза 2-фенил-гем-дихлорциклопропана **1** в щелочной среде автоклавную микроволновую установку Sineo UWave-2000 (см. схему):



Алкоголиз 2-фенил-гем-дихлорциклопропана **1** в автоклавной микроволновой установке протекает при 120°C, давлении 2 атм. за 1÷2 ч с выходом целевых веществ **4, 5** более 95 %. Отметим, что при использовании термического нагрева (60°C) за 15 ч выход соединений **4, 5** не превышает 80 %.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России в сфере научной деятельности, номер для публикаций FEUR – 2022-0007 «Нефтехимические реагенты, масла и материалы для теплоэнергетики».

Литература

1. Kagabu S., Mizoguchi S.A. // *Synthesis*. – 1995. – С. 372–376.
2. Сахабутдинова Г.Н., Раскильдина Г.З., Чанышев Р.Р., Злотский С.С. // *Баш. хим. журнал*. – 2020. – Т. 27, № 1. – С. 22–26.
3. Gu Y., Wu F., Yang J. // *Advanced Synthesis & Catalysis*. – 2018. – Vol. 360, № 14. – С. 2727–2741.
4. Sakhabutdinova G.N., Raskil'dina G.Z., Zlotskii, S.S. // *Russ J Gen Chem*. – 2020. – 90. – С. 1750–1752.



СИНТЕЗ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НОВЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ХИНИНА

Акишина Е. А.^{a)}, Дикусар Е. А.^{a)},
Мукушева Г. К.^{b)}, Сейдахметова Р. Б.^{b)},
Алиева М. Р.^{b)}, Тойгамбекова Н. Н.^{b)},
Поткин В. И.^{a)}

*^{a)}Институт физико-органической химии
НАН Беларуси, г. Минск*

*^{b)}Карагандинский университет имени
академика Е. А. Букетова, Республика Казахстан*

Введение. В настоящее время синтетические трансформации природных соединений прочно утвердились в качестве основного пути создания новых биологически активных соединений [1]. Большое внимание в последнее время уделяется химической модификации хинина благодаря широкому спектру биологической активности производных, полученных на его основе [2,3]. Предыдущие исследования полученных нами ранее ацильных производных хинина с 1,2-азольными, пиридиновым и адамантановым фрагментами и их четвертичных солей [4] показали, что они обладают высокой антибактериальной активностью, превышающей активность препарата *цефтриаксон*.

Цель настоящей работы состояла в получении новых комбинированных производных хинина с фрагментами атофана и анабазина и изучении их антибактериальных, фунгицидных и противоопухолевых свойств.

Результаты и обсуждения. Для синтеза конъюгатов хинина **1** с анабазином, была отработана методика получения пиперидинового аналога **4**. Предполагалось в качестве линкера использовать хлорацетатный $-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})\text{O}-$ фрагмент. С этой целью ацилированием хинина монохлоруксусной кислотой в диэтиловом эфире с выходом 76 % был получен хлорацетат хинина **2**. Взаимодействием полученного сложного эфира **2** с двукратным

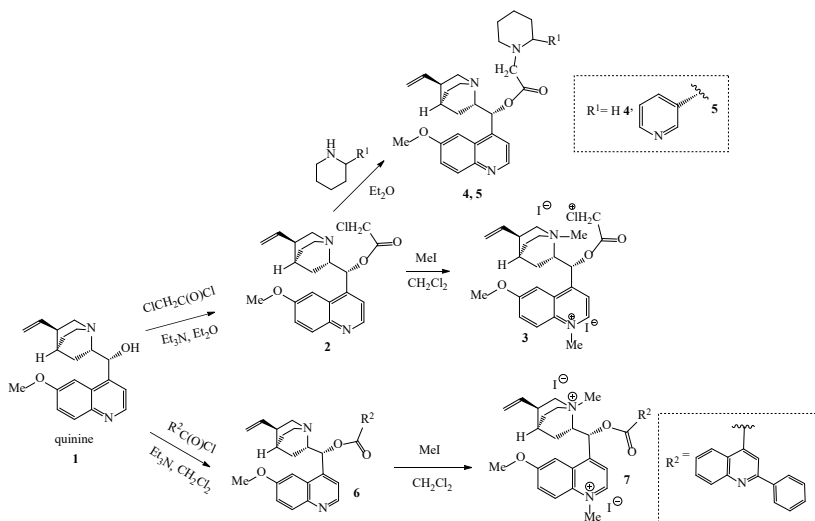


Рис. 1. Схема синтеза комбинированных производных хинина

избытком пиперидина в среде диэтилового эфира при длительной перемешивании (10 сут) был получен пиперидино-хининовый аддукт **4** с выходом 47 %. Аналогичная методика применялась для синтеза анабазино-хининового аддукта, в результате чего было получено соединение **5** с выходом 45 %.

ATCC 10231 в концентрациях 50 мкг/мл (Таблица 1). Цитотоксическую активность в отношении личинок морских рачков *Artemia salina* (Leach) проявили соединения **2**, **3** (Таблица 2). Также ацилированием хинина хлорангидридом атофана в хлористом метиле при комнатной температуре в присутствии триэтиламина был получен сложный эфир **6**. На основе соединений **2**, **6** были получены йодметилаты **3**, **7** с выходом 79 и 88 % выдерживанием в хлористом метиле в присутствии избытка метилйодида.

Выраженную антибактериальную активность показали соединения **3** в отношении *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, антибактериальное действие которого сравнимо с *цефтриаксоном*. Все остальные образцы показали умеренно-выраженную анти-

бактериальную активность, их МИК составила 12,5 и 25 мкг/мл. Для тест-штаммов *Bacillus subtilis* ATCC 6633 и *Escherichia coli* ATCC 25922 МИК соединений 2-7 находилась в пределах 12,5-50 мкг/мл. Противогрибковое действие выявлено у соединений 3, 7 в отношении дрожжеподобного гриба *Candida albicans*

Таблица 1. Антимикробная активность соединений 2-7

№	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538	<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 6633	<i>Escherichia Coli</i> ATCC 25922	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	<i>Candida albicans</i> ATCC 10231
2	12.5	50	25	–	–
3	6.3	25	25	–	50
4	12.5	–	50	–	–
6	25	–	50	–	–
7	25	25	–	–	50
цефтриаксон	6.3	12.5	6.3	12.5	–
нистатин	–	–	–	–	12.5

Таблица 2. Цитотоксическая активность соединений 2-7

№	2	3	4	6	7	(актиномицин D)
LD ₅₀ , мкг/мл	94.6	88.5	–	–	–	44.7

Закключение. Осуществлен синтез новых производных хинина с использованием метиленацетатного линкера (N-пиперидинилацетат и N-анабазинацетат хинина), а также ацилированием хлорангидридом атофана. Исследована антибактериальная, фунгицидная, противоопухолевая активность полученных комбинированных производных хинина.

Работа выполнена в рамках проекта №AP19674667 по грантовому финансированию Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан

Литература

1. Thomford N.E., Senthebane D.A., Rowe A., Munro D., Seele P., Maroyi A., Dzobo K. // *Int. J. Mol. Sci.* – 2018. – Vol. 19. – P. 1578–1606.

2. Artem'ev A.V., Malysheva S.F., Gusarova N.K., Belogorlova N.A., Fedorov S.V., Timokhin B.V., Smirnov V.I., Trofimov B.A. // Chemistry of Heterocyclic Compounds. – 2012. – Vol. 48, № 3. – P. 448–452.

3. Ernawati T., Minarti M., Narij Lotulung P.D. // J. Pure App. Chem. Res. – 2020. – Vol. 9, № 1. – P. 32-39.

4. Mukusheva G.K., Zhasymbekova A.R., Seidakhmetova R.B., Nurkenov O.A., Akishina E.A., Petkevich S.K., Dikusar, E.A., Potkin, V.I. // Molecules. – 2022. – Vol. 27. – P. 3476.



ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА В МАТРИЦЕ ХИТОЗАНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

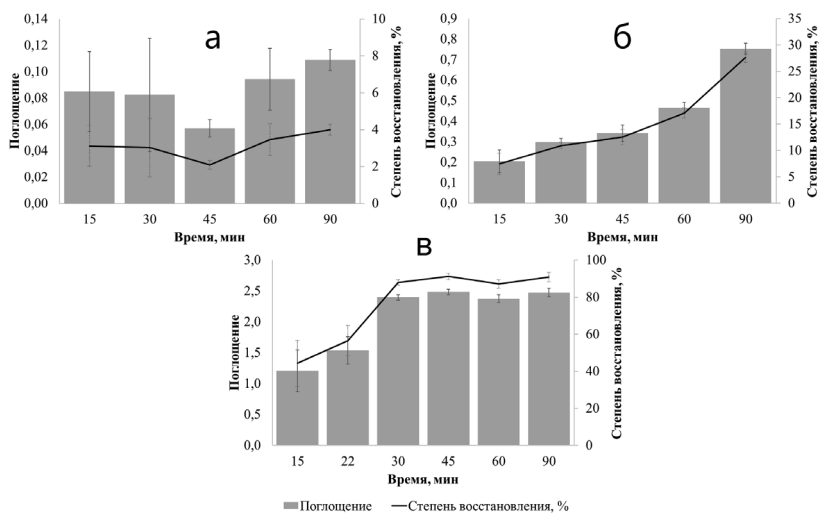
**Николайчук В. В., Гилевская К. С.,
Куликовская В. И.**

*Институт химии новых материалов НАН Беларуси, г.
Минск*

В настоящее время актуальным является экологизация процессов производства. В связи с этим, создание новых композиционных материалов на основе наночастиц Ag для применения в медицине или сельском хозяйстве желательно также осуществлять в соответствии с принципами «зеленой» химии, то есть исключить применение токсичных восстановителей и органических растворителей в процессе получения. Перспективным нетоксичным восстанавливающим агентом для катионов серебра является полисахарид хитозан, обладающий также собственной антибактериальной активностью [1]. Однако следует отметить, что синтез наночастиц серебра под действием хитозана при атмосферном давлении требует длительного нагрева реакционной смеси (8÷10 часов и более) и высокой температуры (95 °С) [2]. В связи с этим несомненный практический интерес представляют гидротермальные методы, в частности, микроволновый синтез наночастиц Ag в матрице биополимера, который прост, быстр и энергетически эффективен.

В работе использовали низкомолекулярный хитозан (Хит, Mw~30 кДа, степень деацетилирования > 90 %). Синтез наноконкомпозитов хитозан-Ag проводили в микроволновом лабораторном реакторе Monowave 300 (Anton Paar, Австрия). В процессе синтеза варьировали температуру (от 80 до 120°С) и время реакции (до 90 мин). Степень восстановления катионов серебра определяли при помощи раствора тетрагидробората натрия.

Синтезированные нанокompозиты хитозан-Ag представляли собой гидрозоль, окраска которых варьировала от оранжевого до темно-коричневого в зависимости от температуры и продолжительности синтеза. Во всем изученном диапазоне температур (от 80 до 120°C) через 15 мин после начала реакции регистрировалась полоса поверхностного плазмонного резонанса (ППР) наночастиц серебра при длине волны 418–422 нм. При увеличении продолжительности реакции наблюдалось повышение интенсивности поглощения, при этом положение максимума ППР оставалось практически неизменным. Показано, что проведение синтеза при низкой температуре (80 °C) приводит к незначительным степеням восстановления катионов серебра – 2÷4 % (рисунок).



Зависимость величины поглощения наночастиц серебра ($\lambda_{\text{ППР}}$) при 100-кратном разбавлении и степени восстановления катионов серебра от времени реакции в образцах, синтезированных при 80°C (а), 100°C (б) и 120°C (в)

Повышение температуры реакционной смеси способствует увеличению степени восстановления нитрата серебра хитозаном, при этом практически полное восстановление катионов се-

ребра (~90-95 %) достигается при 120 °С и продолжительности синтеза не менее 30 минут (рисунок).

Вне зависимости от температуры и продолжительности синтеза полученные нанокомпозиты хитозан-Ag являются положительно заряженными и характеризуются высокой агрегативной устойчивостью – величина дзета-потенциала составляет +(40–48) мВ. Средний гидродинамический диаметр частиц, который характеризует их размер вместе с набухшей полимерной оболочкой в водной среде, снижается с 370÷460 до 50÷180 нм при увеличении температуры синтеза с 80 до 120 °С. Следует отметить, что наблюдается тенденция к снижению среднего диаметра частиц нанокомпозита хитозан-Ag с увеличением продолжительности реакции, однако этот процесс сопровождается повышением степени полидисперсности образца с 0,2 до 0,4.

Таким образом, установлено влияние условий восстановления катионов серебра хитозаном при микроволновом синтезе и показана возможность получения положительно-заряженного нанокомпозита хитозан-Ag с регулируемым гидродинамическим диаметром в диапазоне от 50 до 460 нм. Полученные наночастицы хитозан-Ag могут быть использованы для создания новых гибридных антимикробных препаратов для применения в ветеринарии и медицине.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (договор X22BA-001).

Литература

1. Kou S.G., Peters L., Mucalo M. // Carbohydr. Polym. – 2022. – Vol. 282. – P. 119132.
2. Nicolae-Maranciuc A., Chicea D., Chicea L.M. // Int. J. Mol. Sci. – 2022. – Vol. 23, №. 10. – P. 5778.



МЕТАЛЛОСИЛИКАТНЫЕ НАНОРАЗМЕРНЫЕ АДсорбЕНТЫ: СИНТЕЗ И КОНТРОЛЬ ТОПОЛОГИИ МЕЗОПОР

Кузнецова Т. Ф.^{a)}, **Копыш Е. А.^{a)},
Мельникова Н. П.^{b)}, **Царев А. И.^{b)}**,
Печенка Д. В.^{a)}, **Кондрашев А. В.^{a)}**, **Иванец А. И.^{a)}****

*a) Институт общей и неорганической химии
НАН Беларуси, г. Минск*

*b) Химический факультет, Белгосуниверситет,
г. Минск, Беларусь*

В работе осуществлено сравнение физико-химических свойств висмутосиликатных адсорбентов с различной топологией мезопор (M41S и SBA), возникающей в результате разных путей синтеза и химической обработки. Проведено комплексное исследование висмутосиликатов методами ИК-Фурье-спектроскопии, термического и рентгенофлуоресцентного анализа, низкотемпературной адсорбции-десорбции азота и рентгеновской дифракции. Цель работы задана проблемой обращения с радиоактивными отходами. Газообразный радиоактивный йод ^{129}I – продукт ядерного деления ^{235}U с длительным периодом полураспада ($1,57 \times 10^7$ лет), выделяемый в потоках отходящих газов при переработке отработанного топлива. Благодаря высокому сродству к йоду висмут образует с ним термодинамически стабильные соединения, что делает адсорбенты, содержащие висмут, эффективными для долговременной иммобилизации и хранения радионуклида ^{129}I [1].

В образцах выявлено присутствие интеркалированного висмута в виде кристаллических форм Bi_2O_3 , $\text{Bi}_4(\text{SiO}_4)_3$, $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{SiO}_3$. Показано, что удаление темплата во всех случаях проходит по ступенчатому механизму, при этом остаточные углеродные примеси и вода удаляются при нагревании от 300°C до 650°C . При более низких температурах и за один этап темплат удаляется из SBA-15. Наличие связи $\text{Bi}-\text{O}$ делает возможным использование

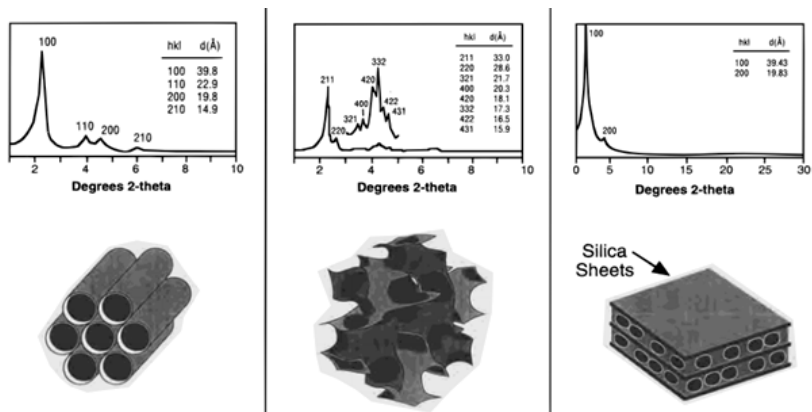


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы и топология мезопористых молекулярных сит: а – с гексагональным упорядочением пор (MCM-41, SBA-15); б – с биконтинуальной кубической симметрией пор (MCM-48, KIT-6); с – со стабильной гексагонально-пластинчатой структурой пор (MCM-50) [2]

материала в качестве адсорбента радиоактивного ^{129}I , поскольку висмут и оксид висмута (III) реагируют с йодом с образованием BiI_3 или продуктов состава $\text{Bi}_x\text{O}_y\text{I}_z$ [3]. Наряду с обеспечением физической сорбции, нагружающей активные центры Bi_2O_3 , $\text{Bi}_4(\text{SiO}_4)_3$, $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{SiO}_3$ хемосорбируемым йодом, основной функцией кремнеземного носителя является их диспергирование.

Установлено, что висмутосиликатные адсорбенты, помимо текстурной пористости, являющейся общим признаком оксидных катализаторов и носителей катализаторов, обладают структурной пористостью, которая определяется составом, взаимным расположением и топологией мезопор. Самый простой способ добиться высокой удельной поверхности – это уменьшить размер частиц, поскольку отношение площади поверхности A к объему пор V является линейным и обратно пропорциональным диаметру частиц D ($AV^{-1} \sim D^{-1}$). Наличие структурной пористости в висмутосиликатах значительно увеличивает удельную поверхность материала, чему способствует не только текстурная пористость и внешняя поверхность отдельных частиц, но и их внутренняя поверхность. Поры такого типа в висмутосиликатах

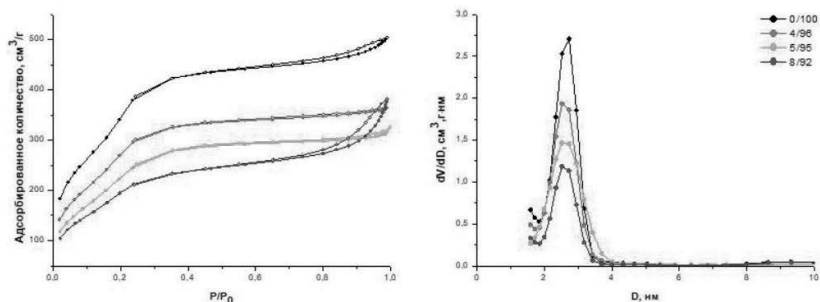


Рис. 2. Изотермы низкотемпературной адсорбции-десорбции азота и NLDFT-распределение пор по размерам для образцов висмутосиликатов с топологией мезопор MCM-41. Черные точки – исходный MCM-41, красные – Bi/Si = 4/96, зеленые – Bi/Si = 5/95, синие – Bi/Si = 8/92 мол. %.

силикатах имеют размеры, начиная от субнанометрового диапазона и до нескольких нанометров. Адаптация текстурных параметров зависит от топологии мезопор висмутосиликатов и происходит в ряду MCM-41, MCM-48 и SBA-15 в пределах значений удельной поверхности 748-1303, 68-879, 693-763 м²/г, объема мезопор 0,20-0,38, 0,15-0,61, 0,56-0,69 см³/г и среднего диаметра пор 3-6, 4-10, 4-5 нм соответственно. Висмутосиликаты MCM-41 и MCM-48 формируются из ТЭОС и метасиликата натрия при осаждении на мицеллах хлорида цетипиридиния, SBA-15 – из ТЭОС на неионогенном темплате Synperonic F108. Показано, что с увеличением содержания висмута снижаются удельная поверхность и объем мезопор. Наиболее развитой площадью поверхности обладают образцы с топологией MCM-41, наибольшим объемом мезопор – SBA-15.

Полученные висмутосиликаты могут использоваться в качестве селективных адсорбентов радиоактивного ¹²⁹I, поскольку сочетают в себе преимущества развитой удельной поверхности, мономодального или бимодального распределения мезопор по размерам, упорядоченной топологии мезопор и многочисленные активные центры со связью Bi-O, способные реагировать с иодом с образованием продуктов Bi_xO_yI_z.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (грант № X23BA-001).

Литература

1. Al-Mamoori A., Alsalbokh M., Lawson S. et al. // *Chemical Engineering Journal.* – 2020). – Vol. 391. –123583.
2. Barton T.J., Bull L. M., Klemperer W. G. et al. // *Chem. Mater.* – 1999. – Vol. 11. – P. 2633.
3. Hao Y., Tian Zh., Liu C., Xiao C. // *Frontiers in Chemistry.* – 2023. – Vol. 11. – 1122484.



4-[(3A,4,5,7,7A)-6-(ПЕНТИЛТИО)-ОКТАГИДРО-1Н-4,7-МЕТАНОИНДЕН-5-ИЛ] МОРФАЛИН В КАЧЕСТВЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПРИСАДКИ

Бабаев Н. Р., Алимарданов Х. М., Садыгов О. А.

*Институт нефтехимических процессов
им. акад. Ю. Г. Мамедалиева Министерства Науки
и Образования Азербайджана*

Для изучения влияния функциональных групп на биоцидные свойства различных соединений нами было выбрана серия соединений, незначительно отличающиеся друг от друга: они имеют в структуре диметиламиновое, пиперидиновые и морфалиновые фрагменты. Такие исследования позволили влияние структуры молекул на их биологическую активность.

Синтезированные вещества исследованы в качестве анти-микробных присадок к моторному маслу М-10 и эмульсионной смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) Азерол-5. Концентрации действующих веществ: 1,0; 0,5 и 0,25 масс. %. Испытывали следующие виды бактерий и плесневых грибов:

Бактерии: *Mycobacterium lacticolum*, *Pseudomonas aeruginosa*.

Грибы: *Aspergillus niger*, *Cladosporium-resinae*, *Penicillium chrosegenum*, *Penicillium cyclosporium*, *Torula convolut*, *Trichoderma viride*.

Дрожжевые: *Candida tropicalis*.

Эффективность действия синтезированных соединений в качестве антимицробной присадки оценивалась по диаметру зоны угнетения роста микроорганизмов вокруг лунки с данным соединением и без него. Результаты опытов показали высокую эффективность полученных нами соединений по сравнению с прототипом. Величина диаметра зоны угнетения роста плесневых грибов зависит от структуры исследуемого соединения и их концентрации в масле.

Таблица 1. Результаты исследований антимикробных свойств синтезированного соединения в моторном масле М-8 и СОЖ Азерол-5

Соединения	Конц. % масс	Диаметр зоны угнетения микроорганизмами, см			
		Масло М-8		СОЖ Азерол-5	
		Смесь бактерий (МПА)	Смесь грибов (СА)	Смесь бактерий (МПА)	Смесь грибов (СА)
4-[(3а,4,5,7,7а)-6-(пентилтио) октагидро-1Н-4,7-метаноинден-5-ил) морфалин	1,0	1,5–1,6	1,6–1,8	1,4–1,2	1,6–1,8
	0,5	1,3–1,4	1,2–1,4	1,2–1,2	1,4–1,4
	0,25	++	1,0–1,0	++	1,2–1,2
Пентахлорфенолят натрия	1,0	1,1–1,3	1,4–1,4		
	0,5	0,7–1,0	0,8–1,2		
Масло М-8 (без присадки)	–	++	++		
СОЖ Азерол-5				++	++

В составе СОЖ исследуемые соединения проявляют большую активность по сравнению со смазочным маслом, что, связано с лучшей их растворимостью в водно-масляной СОЖ.



НЕФТИ АЗЕРБАЙДЖАНА КАК СЫРЬЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

**Рамазанова Ю. Б., Юсифова А. Р.,
Гусейнова А. А., Магеррамова З. К.,
Гасымова М. И.**

*Институт химии присадок им. акад. А. М. Кулиева
Министерство науки и образования Азербайджанской
Республики, Баку*

Нефти морских месторождений Азербайджана основное сырье для получения масел. Для производства масел в качестве сырья в основном используются нефти морских месторождений к числу которых относятся Нефтяные Камни, Сангачалы-море, 28 Апреля, Бахар, Булла-море и т. д.

Нефти морских месторождений по содержанию парафинов можно условно разделить на две группы: малопарафинистые (0,3÷1,0 % Нефтяные Камни) и парафинистые (7,5÷8,0 % Сангачалы-море). Исследованиями установлено, что парафинистые нефти Азербайджана являются хорошим сырьем для производства масел.

Все нефти Азербайджана являются малосернистыми (0,02÷0,40 % серы), смолистыми и мало ароматизированными

Строение углеводородных компонентов в этих нефтях позволяет получить из них масла с индексом вязкости 70÷80 ед. Масла с таким индексом вязкости невозможно получать из бакинских малопарафинистых нефтей.

Более высокое содержание углеродных атомов в парафиновых структурах масла из нефти Сангачалы-море обусловлен несколько повышенным индексом вязкости (ИВ 83÷85 вместо 70÷80).

Для надежной длительной эксплуатации двигателей внутреннего сгорания в жестком режиме требуется применение высококачественных моторных масел, отвечающих по комплексу показателей предъявляемым требованиям.

В последние годы значительно возросли требования к маслам, используемым в двигателях, оборудованных системами очистки выхлопных газов. С целью обеспечения их нормальной работы требуется создание новых смазочных композиций, отличающихся пониженным содержанием фосфора и серы и малой зольностью.

В Институте химии присадок разработаны новые смазочные композиции на основе бакинских базовых масел для двигателей различного назначения.

Проведены квалификационные испытания опытно-промышленных образцов М-10Г₂к, М-12ВБ, М-14Г₂, М-14В₂, М-14ГБ, М-20Бп разработанных на основе бакинских дистиллятных масел, для автотракторных, судовых, тепловозных и стационарных, дизельных двигателей. На основе положительных результатов испытаний эти масла были рекомендованы для производства и применения.

Для надежной длительности эксплуатации высоковязкие масла из Бакинских парафинистых нефтей по эксплуатационным и физико-химическим показателям не уступают товарным маслам, даже их превосходят.



БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ В ВОСТРЕБОВАННЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ПРОДУКТЫ

**Каримов О. Х.^{a)}, Каримов Э. Х.^{b)},
Мовсумзаде Э. М.^{b)}, Флид В. Р.^{a)}**

*^{a)} МИРЭА – Российский технологический университет,
г. Москва, Россия*

*^{b)} Уфимский государственный нефтяной технический
университет, г. Уфа, Россия*

В целлюлозно-бумажной промышленности образуется около 300 кг лигносульфонатов с каждой 1 тонны перерабатываемой древесины. Будучи отходом, лигносульфонаты имеют низкую стоимость (около 15÷20 руб./кг сухого порошка) и доступность в промышленных масштабах. Они могут быть перспективным сырьем для получения многих ценных органических соединений и углеводов, поскольку в своей структуре содержат как ароматические, так и алифатические фрагменты. В таком случае лигносульфонаты имеют перспективы стать экологической альтернативой нефтяным и газовым источникам углеводов, попутно решая проблему утилизации крупнотоннажных отходов целлюлозно-бумажной промышленности.

В данной работе был изучен состав продуктов термической деструкции технического лигносульфоната натрия, полученного в результате бисульфитной варки хвойных пород древесины, при ступенчатом увеличении температуры и предложена технология получения органических соединений и углеводов. Анализ проводили методом пиролиз – газовой хроматографии – масс-спектрометрии (пиро-ГХ/МС) с увеличением температуры 2 °С в минуту с выдержкой при заданной температуре не менее 1 часа. Последующее увеличение температуры производили у этой же пробы – без замены на исходный лигносульфонат.

При ступенчатом пиролизе были выделены три стадии: 120 °С (суммарный выход продуктов 10÷12 %масс.), 200 °С (суммарный выход продуктов 15÷20 % масс.) и 300 °С (суммарный выход продуктов 68÷75 %масс.). На первой стадии пиролиза при температуре до 120 °С отщепляется от исходной массы лигносульфонатов всего 10÷12 % масс. углеводов и органических соединений, химическая структура которых имеет большие углеродные цепи $C_{12} \div C_{17}$. В процессе медленного пиролиза при низких температурах образуется относительно малый ассортимент веществ. При этом образуется смесь ценных органических соединений, обладающих широкой сферой применения. Например, дифениламин ($C_{12}H_{11}N$) применяют в производстве антиоксидантов для полимеров, он также может быть использован как стабилизатор для термостойкости нитратов целлюлозы, применяется в аналитической химии.

На второй стадии пиролиза при температуре до 200 °С образуется ненамного большее количество углеводов – 15÷20 % масс. от исходной массы лигносульфонатов. При этом, в составе конденсата имеются легкие углеводороды C_3H_9NO и C_6H_6O с низкими температурами кипения. Данные компоненты могут не полностью конденсироваться и частично уноситься с потоком циркулирующего азота. Аналогично первой стадии пиролиза лигносульфонатов зафиксирован благоприятно малый ассортимент изомерных структур продуктов пиролиза с большим количеством углеродных цепей $C_{11} \div C_{16}$.

Основная масса продуктов пиролиза образуется на третьей стадии – 68÷75 % масс. от исходной массы лигносульфонатов. В составе продуктов пиролиза при 300 °С зафиксирован более широкий ассортимент органических соединений и углеводов как низкомолекулярных ($C_2 \div C_3$), среднемолекулярных ($C_7 \div C_{10}$), так и более высокомолекулярных ($C_{12} \div C_{19}$). На третьей стадии пиролиза отсутствуют кремний-органические соединения, но в составе содержатся S-, N-, O-гетероорганические соединения.

На рисунке представлена схема проекта промышленной установки трехстадийного пиролиза ЛС в «кипящем» слое.

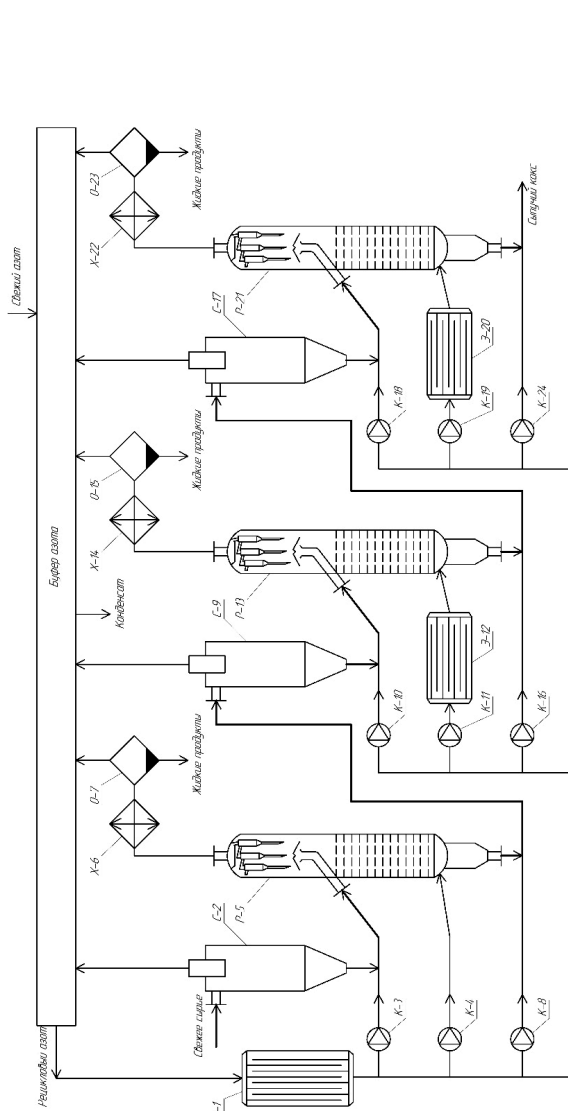


Схема проекта промышленной установки трехстадийного пиролиза лигносульфоната в «кипящем» слое: Э-1, Э-12, Э-20 – электрокамера для нагрева циркуляционного газа (азота) до 120-140 °С, 220-240 °С и 320-340 °С соответственно; С-2, С-9, С-17 – силоса (бункера) для временного сбора свежего и промежуточного разложенного лигносульфоната; К-3, К-4, К-8, К-10, К-11, К-16, К-18, К-19, К-21 – компрессора нагнетания азота для транспортировки лигносульфоната и создания «кипящего» слоя в реакторах; Р-5, Р-13, Р-21 – реактора пиролиза лигносульфоната в «кипящем» слое при температурах 120 °С, 200 °С и 300 °С соответственно; Х-6, Х-14, Х-22 – холодильники для конденсации жидких продуктов пиролиза лигносульфоната; О-7, О-15, О-23 – отстойники для разделения жидких

продуктов от циркуляционного газа (азота)

На всех стадиях пиролиза лигносульфонатов используется азот, выполняющий сразу несколько функций: обеспечивает бескислородную реакционную среду, является доступным инертным газом; является пневмотранспортом для сырья, промежуточных и готовых продуктов, легко отделяемым от жидких и твердых продуктов; является теплоносителем; обеспечивает барботаж сыпучего лигносульфоната в силосах, препятствуя слеживанию и налипанию на стенках силоса; циркуляция азота во всей технологической схеме обеспечивает полное отсутствие газообразных выбросов.

С циркулирующим азотом возможен частичный унос углеводородов $C_2 \div C_3$. Возможны два варианта улавливания этих компонентов: конденсация углеводородов буфере азота (предусмотрен слив конденсата) и циркуляция углеводородов $C_2 \div C_3$ вместе с азотом. Во втором варианте разбавление углеводородов азотом будет настолько высоким, что данный факт не скажется на качестве процесса. Предлагаемая технология переработки лигносульфонатов не имеет газообразных, жидких и твердых отходов.



ДИМЕРНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ АЛКАЛОИДОВ И ИХ БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

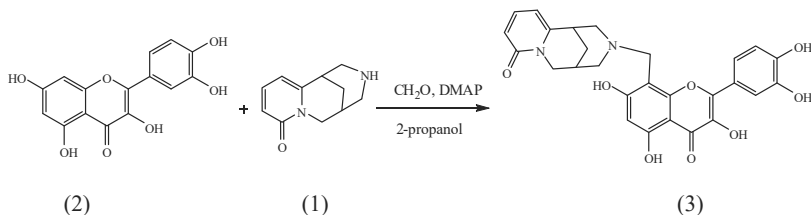
Мукушева Г. К.^{а)}, Алиева М. Р.^{а)},
Джалмаханбетова Р. И.^{б)}, Сейдахметова Р. Б.^{а)}

*^{а)} Карагандинский университет имени академика
Е. А. Букетова, г. Караганда, Республика Казахстан*

*^{б)} Евразийский национальный университет
им. Л. Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан*

Одним из широко используемых методов поиска новых потенциальных лекарственных веществ является химическая модификация молекул известных природных соединений, в частности алкалоидов, с последующим изучением биологической активности полученных производных [1]. Алкалоиды привлекают внимание исследователей своей физиологической активностью и структурным многообразием. В настоящее время растет интерес к синтезу димерных соединений на основе различных алкалоидов путем введения в их молекулу фрагментов лактонов, флавоноидов и других биологически активных соединений [2,3].

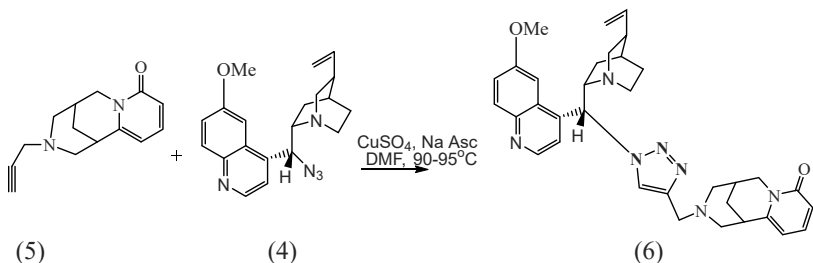
С целью получения нового биологически активного вещества нами синтезирована гибридная молекула (3) на основе флавоноида кверцетина (2) и алкалоида цитизина (1).



Отсутствие в спектре ПМР сигнала протонов флавоноида кверцетина (3) при C-8 и алкалоида цитизина (1) при азоте подтверждает присоединение алкалоида цитизина к флавоноиду кверцетина. Выход 60 %, т. пл. 121÷123 °С.

В плане получения нового биологически активного вещества, содержащего одн-временно фрагменты алкалоидов цитизина, хинина и фармакофорного 1,2,3-триазольного фрагмента, нами выбран метод азид-алкинового циклоприсоединения, катализируемого соединениями меди.

Проведена химическая модификация алкалоида посредством Cu-катализируемой реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения азид хинина (4) с пропаргил цитизином (5), при этом синтезировано новое димерное соединение (6) с выходом 75 %.



Строение соединений (3,6) было подтверждено методами ЯМР¹H и ¹³C-спектроскопии и масс-спектрометрии. Методом азид-алкинового циклоприсоединения, катализируемого соединениями меди, впервые осуществлен синтез нового потенциально биологически активного соединения, содержащего одновременно фрагменты алкалоидов хинина, цитизина и гетероциклического 1,2,3-триазольного фрагмента.

Изучена биологическая активность синтезированных производных. Результаты исследования показали, что образец (3) показывает выраженную антибактериальную активность в отношении грамотрицательного тест-штамма *Escherichia coli*, а также умеренно-выраженную антимицробную в отношении грамположительных тест-штаммов *Staphylococcus aureus* и *Bacillus subtilis*. Образец (6) проявляет умеренно-выраженную антибактериальную активность в отношении грамположительного тест-штамма *Staphylococcus aureus* и грамотрицательного тест-штамма *Escherichia coli*.

Работа выполнена в рамках проекта №AP19674667 по грантовому финансированию Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан

Литература

1. Нуркенов О.А., Кулаков И.В., Фазылов С.Д. Синтетические трансформации алкалоида цитизин. – Караганда: Гласир, 2012. – 210 с.
2. Беликов В.Г. Фармацевтическая химия. – М.: Высшая школа, 1993. – 443 с.
3. Decker M. Design of hybrid molecules for drug development. Amsterdam: Elsevier, 2017. – 352 p.



РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА АНАЛИТИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ В МАЛОТОННАЖНОЙ ХИМИИ

**Бессарабов А. М.^{а)}, Трохин В. Е.^{а)},
Василенко В. А.^{б)}, Гришаева Д. А.^{б)}**

*а) АО Научный центр «Малотоннажная химия»,
г. Москва, Россия*

*б) Российский химико-технологический университет
им. Д. И. Менделеева, Москва, Россия*

В настоящее время существенно повысились требования к качеству химических реактивов и особо чистых веществ. В то же время существенно увеличилось число критериев, определяющих качество продукта, и возросли требования к методам аналитического контроля [1]. Одним из путей решения этих проблем является создание цифрового двойника (Digital Twin) современной аналитической лаборатории.

В этой работе учтен предыдущий опыт по созданию цифрового двойника завода АО «ЭКОС-1» [2] (один из основных производителей химических реактивов в России), на базе которого создан Научный центр «Малотоннажная химия». Для 3D-моделирования «ЭКОС-1» был использован пакет Autodesk Revit – программный комплекс, широко применяемый при автоматизированном проектировании [3].

Аналитический отдел Научного центра совместно с аналитической службой «ЭКОС-1» осуществляет: разработку общих подходов к анализу реактивов и высокочистых веществ, выявление методов анализа основных групп примесей, разработку оптимальных алгоритмов анализа продукции, сырья и полупродуктов. На первом этапе создания цифрового двойника разработана информационная 3D-модель аналитической лаборатории инструментального анализа, включающая проектную 3D-модель и базы данных по элементам модели. К элементам относятся аналитические приборы и вспомогательное оборудование.

Системой компьютерной поддержки является Blender (Blender Foundation, Нидерланды). Это мощный профессиональный инструмент, предоставляющий обширный и динамично расширяющийся набор возможностей для выполнения комплексного 3D моделирования, осуществления анимации сцен и рендеринга визуальных эффектов [4]. С использованием данного пакета в цифровом двойнике аналитической лаборатории осуществляется имитация внутренних рабочих процессов.

Для многих образцов специализированного оборудования, применяемого в аналитической лаборатории, разработаны соответствующие виртуальные модели. Все модели максимально приближены к оригиналам. Это позволило спроектированную 3D-модель лаборатории использовать для маркетинговых работ, продвигающих аналитические услуги у перспективных заказчиков. Кроме того, цифровые двойники обладают значительным потенциалом для повышения качества аналитических исследований. Моделируя реальные условия, они дают полное представление о поведении системы и позволяют принимать обоснованные решения по оптимизации работы аналитических подразделений.

Литература

1. Трохин В.Е., Трынкина Л.В., Бессарабов А.М. Аналитический мониторинг особо чистых веществ на основе концепции CALS. Рига, Латвия: Изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing». – 2018. – 116 с.
2. Bessarabov A., Trokhin V., Mindlin G., Vasilenko V. // *Chemical Engineering Transactions*. – 2022. – Vol. 94. – P. 529–534.
3. Гинзбург А.В. // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2016. – № 9. – С. 61–65.
4. Шишов Н.О., Василенко В.А. // *Успехи в химии и химической технологии*. – 2023. – Т. 37, № 4 (266). – С. 83–85.



ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ АССОРТИМЕНТА ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТИВОВ ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Трохин В. Е.^{а)}, Бессарабов А. М.^{а)},
Кириллова И. Ю.^{б)}, Челноков В. В.^{б)}**

*^{а)} АО Научный центр «Малотоннажная химия»,
г. Москва, Россия*

*^{б)} Российский химико-технологический университет
им. Д. И. Менделеева, Москва, Россия*

В фармацевтической промышленности нашли широкое применение вещества реактивной квалификации и особой чистоты [1]. Один из основных производителей этой продукции АО «ЭКОС-1» (г. Старая Купавна, Московская область). Применение широкого ассортимента выпускаемых предприятием реактивов связано с существенным ростом требований фармации к качеству продукции. Для решения этой проблемы разработана система компьютерного менеджмента качества (КМК-система).

КМК-система позволяет следующее: улучшить аналитический контроль качества продукции; гарантирует оперативное предоставление корректной лабораторной информации; повышает эффективность использования ресурсов лаборатории (персонала, приборов и реагентов); сокращает время выполнения аналитических исследований, формирования отчетности и составления документов о качестве. Наиболее перспективной системой компьютерной поддержки аналитического мониторинга является CALS-технология (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукта) [2].

На первом этапе компьютерного менеджмента качества была создана база данных 11 ведущих зарубежных фирм, выпускающих фармацевтическую продукцию: Bayer AG; Abcam; Acros

Organics BVBA; Applichem; Bio-Rad Laboratories, Inc.; Mallinckrodt Baker, Inc.; MP Biomedicals; Thermo Fisher Scientific; PanReac; Merck; Carl Roth GmbH+Co.KG. На основе компьютерного анализа и экспертных оценок были выбраны 3 наиболее перспективные фирмы (PanReac; Merck; Carl Roth). При анализе рассматриваются 5 фармакопей: USP, DAB, JP, BP, Ph. Eur (США, Германия, Япония, Британская, Европейская).

В разработанной КМК-системе рассмотрены 3 группы реактивов, выпускаемых АО «ЭКОС-1»: органические растворители, неорганические кислоты, заказные реактивы (более 400 марок). Алгоритм автоматизированного поиска основан на том, что по каждому импортному реактиву для фармакологии осуществляется поиск такого же продукта из имеющейся в нашей КМК-системе базы данных ассортимента АО «ЭКОС-1». Критерием поиска является максимальное совпадение показателей качества по наименованиям и численным характеристикам. В случае совпадения или превышения наших показателей качества отмечается возможность (рекомендация) импортозамещения продукта без коррекции технологического процесса. В случае различия в показателях качества между импортным реактивом и его отечественным аналогом – отмечаются направления доработки технологии, методов анализа (разрабатываются проекты ТУ, изменения к действующим ТУ, соответствующие методы анализа и др.), а также определяется порядок согласования научно-технической документации.

Литература

1. Лукша Е.А., Корнеева И.Н., Савченко И.А., Подгурская В.В., Гушина Е.С. // Медико-фармацевтический журнал Пульс. – 2019. – Т. 21, № 11. – С. 6–12.
2. Бессарабов А.М., Трохин В.Е., Трынкина Л.В., Гафитулина К.М. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2022. – № 8. – С. 19–26.



СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ПРОМЫШЛЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ МАЛОТОННАЖНОЙ ХИМИИ

Трохин В. Е.^{а)}, **Бессарабов А. М.^{а)}**, Клевцов А. А.^{б)}

а) АО Научный центр «Малотоннажная химия», г. Москва, Россия

б) АО «ЭКОС-1», г. Москва, Россия

Химические реактивы и особо чистые вещества представляют собой важнейший и наиболее наукоемкий класс продукции малотоннажной химии. Одним из перспективных направлений обеспечения экономики продукцией малотоннажной химии является более тесное объединение науки и производства в соответствующие кластеры [1]. В качестве удачного примера такого объединения рассматривается совместная работа промышленного предприятия АО «ЭКОС-1» и созданного на его основе АО Научный центр «Малотоннажная химия». Получившийся научно-промышленный кластер является лидером российского рынка химических реактивов и особо чистых веществ [2].

В системе управления научно-промышленного комплекса (НПК) используются основные организационные структуры. Верхний уровень управления представляет линейно-штабную структуру, базирующуюся на строгой подчиненности низшего звена управления высшему (жесткая иерархия). В систему входят специальные подразделения с функциональными специализациями (отдел кадров, плановый, маркетинговый, бухгалтерия и др.). В развитие линейной структуры введены штабы – группы советников (научно-технический и ученый совет, координационный орган).

Для выполнения важнейших проектов в НПК широко используются матричные структуры управления. Элементы матричной структуры выражаются в возникновении дополнительных горизонтальных связей между специалистами различных подразделений в рамках команд проектов. Ключевым преиму-

ществом такого подхода при построении структур управления является улучшение взаимодействия между подразделениями в целях реализации крупных проектов или эффективного решения важнейших проблем.

В службе сбыта НПК используется дивизионально-продуктовая структура управления. При этом полномочия, связанные со сбытом конкретных групп важнейшей продукции, передаются конкретным ведущим специалистам, которые отвечают за соответствующий ассортимент выпускаемых АО «ЭКОС-1» материалов. Дивизионально-организационная структура применена в службах снабжения и сбыта НПК и ориентирована на важнейших поставщиков и потребителей, вокруг которых формируется группировка подразделений, обеспечивающая оптимальное взаимодействие.

Организационное развитие, связанное с управлением изменениями, базируется на двух методах Гарвардской школы бизнеса (Michael Beer, Nitin Nohria): «Теория Е» и «Теория О». В настоящее время организация управления АО «ЭКОС-1» и АО Научный центр «Малотоннажная химия» совершенствуется на базе нового концептуального подхода «Теория О», основанного на выделении самостоятельных подсистем развития, реализующих следующие взаимосвязанные функции: анализ эффективности структуры управления; проектирование новой организационной структуры; разработка штатного расписания; формирование новой организационной структуры, основанное на рекомендациях по развитию и адаптации стиля и методов руководства.

Литература

1. Клевцов А.А., Трохин В.Е., Бессарабов А.М., Стоянов О.В. // Вестник технологического университета. – 2019. – Т. 22, № 11. – С. 141–145.
2. Заремба Г.А., Трохин В.Е., Бессарабов А.М. // Успехи в химии и химической технологии. – 2020. – Т. 34, № 6. – С. 163–65.



РЕАКТИВЫ ДЛЯ ВОДОПОДГОТОВКИ В СИСТЕМЕ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ МАЛОТОННАЖНОЙ ХИМИИ

**Трохин В. Е., Бутакова М. В., Гусева О. В.,
Бессарабов А. М.**

*АО Научный центр «Малотоннажная химия»,
г. Москва, Россия*

Для завода малотоннажной химии АО «ЭКОС-1» (один из основных российских производителей химических реактивов и особо чистых веществ) разработана интегрированная система водного хозяйства предприятия [1]. В структуру этой системы входят 6 локальных подсистем: оборотного водоснабжения; генерации пара, сбора и обработки конденсата; получения обессоленной воды; получения высокоочищенной воды; сбора и очистки загрязненных вод; горячего водоснабжения. Анализируются 9 видов водных потоков: магистральная вода, концентрат, обратная вода (прямая), обратная вода (возвратная), осмотическая вода, насыщенный пар, бытовые и промстоки, особо чистая вода, горячая вода.

Вопросы водоподготовки имеют существенное значение для трех экологических подсистем: оборотное водоснабжение, получение обессоленной воды, генерация пара и обработка конденсата [2]. Основным направлением для предотвращения процессов солеотложения, коррозии и биологического обрастания в этих подсистемах являются мероприятия по обеспечению коррекционного водно-химического режима, осуществляемые вводом в теплоноситель химических реагентов.

С целью подбора реагента для предотвращения солеотложения и ингибирования процессов коррозии использовались следующие реагенты, выпускаемые АО «ЭКОС-1»: АМИНАТ™ А на основе смеси фосфоновых кислот, АМИНАТ™ Ао с включением в состав диспергатора, АМИНАТ™ ОД на основе солей ГОЭДФ, а также АМИНАТ™ РО-1 с диспергатором, синтезиру-

емым на заводе. Подбор реагентов и определение эффективных доз для поддержания нормируемых показателей теплоносителя по транспорту кальция в пределах 90 % и скорости коррозии стальных образцов не более 0,1 мм/год осуществлялись с помощью установки купонной сборки индикаторов солеотложения и коррозии, а также основывались на непрерывном лабораторном химическом контроле циркуляционной и подпиточной воды. С учетом качества теплоносителя и особенностей работы системы охлаждения был выбран АМИНАТ™ РО-1. Применение этого реагента позволило увеличить межпромывочный период теплообменного оборудования и повысить экономические показатели эксплуатации.

Для подбора биоцидной обработки оборотной системы охлаждения был также выполнен комплекс наладочных работ. При исследованиях с различными дозами и периодичностью обработки были опробованы: АМИНАТ™ БП на основе полигуанидинов, АМИНАТ™ БИТ-7 на основе изотиазолонов, АМИНАТ™ БДБ на основе бромидных соединений, АМИНАТ™ БКА на основе ЧАС с биодисперсантом. В результате исследований для постоянной обработки выбран реагент АМИНАТ™ БП. Реагент предотвращает развитие биологических обрастаний; проявляет высокую эффективность по отношению к широчайшему спектру микроорганизмов; обладает пролонгированным действием, высокой химической стабильностью, отсутствием коррозионной активности по отношению к материалам трубопроводов и оборудования.

Литература

1. Bessarabov A., Trokhin V., Stepanova T. // Clean Technologies and Environmental Policy. – 2022. – V. 24, №. 2. – P. 721–728.
2. Гусева О.В., Бутакова М.В., Прорехин С.М. // Энергосбережение и водоподготовка. – 2021. – № 5 (133). – С. 45–49.



ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕСНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ РЕАГЕНТОВ НА ОБЪЕКТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**Приоров Г. Г.^{а)}, Бессарабов А. М.^{а)},
Глушко А. Н.^{б)}**

*а) АО Научный центр «Малотоннажная химия»,
г. Москва, Россия*

*б) НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, г. Москва,
Россия*

Проведена разработка системы компьютерного менеджмента качества (КМК-система) для экологического мониторинга влияния противогололедных реагентов (ПГР) на объекты окружающей среды. В качестве системы компьютерной поддержки использовалась CALS-технология (Continuous Acquisition and Life-cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделия) [1].

Мониторинг проводится по важнейшим экологическим кластерам: снег и водные объекты, почвенный покров, зеленые насаждения и атмосферный воздух. Основной комплекс задач экологического мониторинга примесных компонентов ПГР связан с четырьмя наиболее распространенными видами загрязнения: тяжелые металлы, галогенорганические соединения, полиароматические углеводороды и естественные радионуклиды [2].

Для одного из важнейших экологических индикаторов «Удельная эффективная активность естественных радионуклидов» в КМК-систему занесены наиболее перспективные методы контроля и аналитические приборы. При мониторинге наиболее часто применяются два метода: альфа-спектрометрия с предварительным радиохимическим анализом, селективным выделением нуклидов и изготовлением источников, пригодных для измерения (метод особенно часто применяют для измерения

активности плутония, америция, кюри); гамма-спектрометрия (как правило, для диапазона энергий 20–2000 кэВ).

Радиационный мониторинг в основном проводится с помощью автоматизированных систем в трех режимах – повседневном, повышенной готовности и аварийном. Такие системы представляют собой сложные комплексы оборудования, включая стационарные, передвижные наземные, надводные и воздушные комплексы радиационного контроля.

Существуют также методы экспрессного радиационного контроля в полевых условиях, которые подразумевают использование переносных дозиметров и спектрометров. Дозиметры фиксируют лишь характер излучения и его общую мощность (экспозиционной дозы), в то время как спектрометры позволяют измерить концентрацию определенных радионуклидов в объектах окружающей среды. Также разрабатываются методы дистанционного контроля радиационной обстановки, среди которых существуют прямые (регистрируется непосредственно интенсивность и спектр излучения) и косвенные (по изменениям, наблюдающимся в окружающей среде под воздействием излучения).

В результате проведенных исследований показано, что для эффективного экологического мониторинга негативного влияния ПГР на объекты окружающей среды перспективно применение КМК-систем, которые так же, как и LIMS (Laboratory Information Management System) [2] являются составной частью системы качества и предназначены для компьютерной поддержки работы аналитической лаборатории.

Литература

1. Glushko A., Bessarabov A., Priorov G. // Chemical Engineering Transactions. – 2018. – Vol. 70. – P. 451–456.
2. Бессарабов А.М., Глушко А.Н., Приоров Г.Г. // Экологические системы и приборы. –2021. – № 9. – С. 19–26.



СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИПИРРОЛА

**Новик Х. А.^{a)}, Игнатович Ж. В.^{a)},
Филиппович Л. Н.^{a,b)}, Лемешонок С. Н.^{a)},
Данилова Д. А.^{c)}, Рогачев А. А.^{a)}**

*^{a)} Институт химии новых материалов НАН Беларуси,
г. Минск, E-mail: novik.xristina@mail.ru*

*^{b)} Институт физико-органической химии НАН
Беларуси, г. Минск*

*^{c)} ГУ “Научно-практический центр Государственного
комитета судебных экспертиз Республики Беларусь”,
г. Минск*

В последние годы наблюдается возрастающий интерес к новому классу электропроводящих полимерных материалов (ЭПМ) на основе проводящих полимеров с системой сопряженных двойных связей, получаемых по реакции окислительной полимеризации. Проводящие полимеры могут находиться в разных состояниях окисления и, также как неорганические полупроводники, дают закономерный отклик на внешнее воздействие. Они меняют свою электропроводность, цвет, плотность, магнитные свойства, гидрофильность-гидрофобность, проницаемость для газов и жидкостей. По этой причине ЭПМ находят широкое применение при разработке сенсорных устройств нового поколения, элементов питания и суперконденсаторов, электрохромных устройств: умных окон, дисплеев; для экранирования электромагнитного излучения и др. Цель настоящей работы заключалась в разработке метода синтеза полипиррола (ППир) с воспроизводимыми свойствами, исследовании влияния на электропроводность получаемого ЭПМ условий синтеза ППир – выбора окислителя, допанта, времени и температуры полимеризации; а также получении композитных пленок на основе ППир в матрице из ПВС.

Методы и материалы. Полипиррол ППир-1 – ППир-5, допированный анионами кислот (додецилбензолсульфокислотой (ДБСК), соляной, щавелевой) получали по методике: к 200 мл дистиллированной воды при перемешивании на магнитной мешалке прибавили 0,7 мл (0.01 моль) пиррола, затем добавили 0,02 моль кислоты допанта, через 15 минут после образования устойчивой эмульсии, добавили 3,36 г (0.012 моль) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (или 2,73 г персульфата аммония (АПС)). Реакцию проводили при комнатной температуре (либо при охлаждении льдом до $0 \div 5$ °С) в течение $4 \div 12$ часов. Полученный черный осадок полипиррола отфильтровали на фильтре Шотта, промыли 1 раз дистиллированной водой и три раза 0,2 М водно-этанольным раствором соответствующей кислоты (3*50 мл). Синтез композита полипиррол/технический углерод проводили по аналогичной методике, добавив к эмульсии пиррола в воде 0.5 г технического углерода марки С 140.

Композиция для формирования пленок включала: ПВС – 5 г, спирт этиловый – 5 мл, борную кислоту и глицерин по 1,5 мл, диметилформамид – 2,5 мл, Ппир (10 мас. %), остальное вода до 50 г раствора. Перед введением в композицию нанодобавки обрабатывали УЗ 30 мин (УЗ ванна, ULTRON, Польша). Пленки формировали на стеклянных подложках и сушили 1 ч в термокамере при $60 \div 70$ °С.

Результаты и выводы. По данным СЭМ полипиррол (рис. 1) состоит из сферических агрегированных частиц со средним размером от 1,5 до 3,5 мкм.

Установлено, что самой высокой проводимостью обладает Ппир-5 (таблица 1), полученный при охлаждении до 0 °С с использованием в качестве окислителя FeCl_3 и допированный ДБСК.

В УФ-спектрах интенсивность максимума поглощения при 295 нм увеличивается при использовании в качестве допанта ДБСК по сравнению с Ппир, допированным соляной и щавелевой кислотами (рис. 2, а).

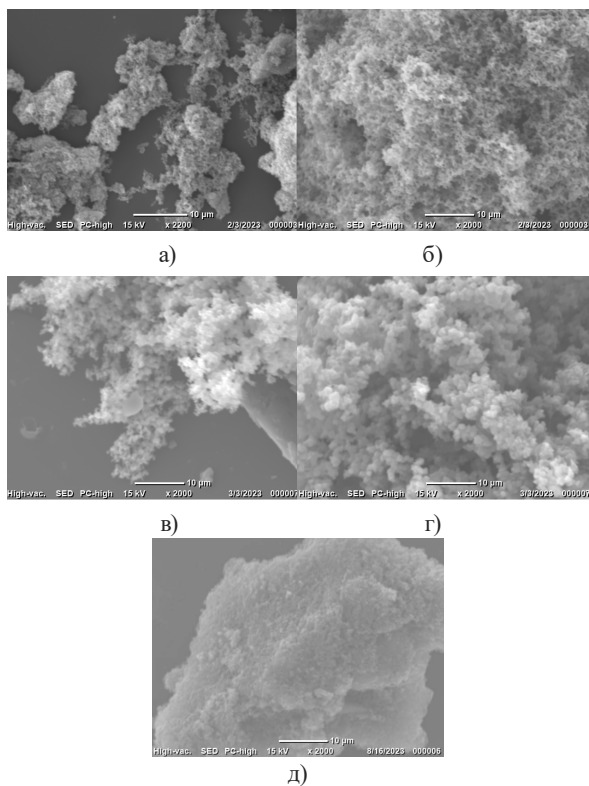
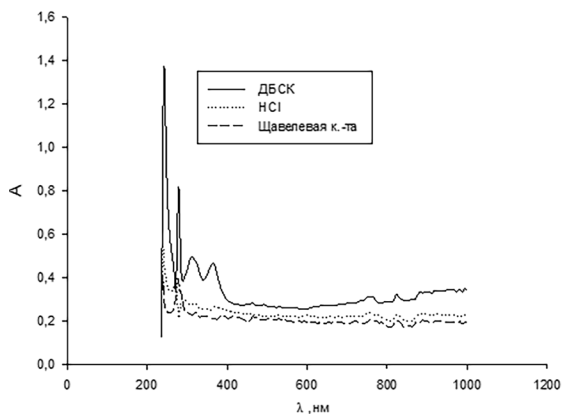


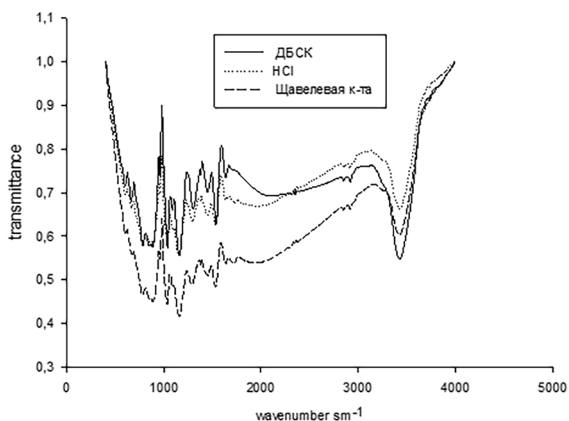
Рис. 1. СЭМ-фотографии полипиррола ППир-1(а), ППир-2 (б), соляной (в) и щавелевой (г) кислотами, композит ППир/Технический углерод

Электрические свойства полипиррола в зависимости от условий проведения реакции окислительной полимеризации

Окислитель/условия синтез (температура, °С, продолжительность реакции, ч)	Допант	Электропроводность, См/см
ППир-1: $\text{FeCl}_3/20^0\text{C}/ 6$ ч	ДБСК	1,781
ППир-2: АПС// $20^0\text{C}/ 12$ ч	ДБСК	0,093
ППир-3: $\text{FeCl}_3/20^0\text{C}/ 12$ ч	НСI	0,566
ППир-4: $\text{FeCl}_3/20^0\text{C}/ 12$ ч	Щавелевая кислота	0,613
ППир-5: $\text{FeCl}_3/0^0\text{C}/ 4$ ч	ДБСК	7,8
ППир-6: Тех. углерод С 140/ $\text{FeCl}_3/0^0\text{C}/ 4$ ч	ДБСК	6,7



а)



б)

Рис. 2. Спектры поглощения (а) и ИК-спектры (б) полипиррола, допированного различными кислотами

В УФ-спектрах интенсивность максимума поглощения при 295 нм увеличивается при использовании в качестве допанта ДБСК по сравнению с Ппир, допированным соляной и щавелевой кислотами (рис. 2, а).

В ИК-спектрах полипиррола (рис. 2) присутствуют полосы поглощения 467, 765, 1061, 2853, 3420 см^{-1} . Однако у Ппир, окис-

ленного FeCl_3 полосы 467, 1061 и 3420 см^{-1} несколько интенсивнее, по сравнению с окисленным АПС, на основании чего можно предположить, что в случае использования в качестве окислителя FeCl_3 большее количество полимера находится в протонированной форме. Кроме того, ИК спектр ППир, полученного при охлаждении, отличается большей интенсивностью (рис. 2, в).

На основе ППир-5 и ППир-6 получены ПВС пленки, которые по данным импедансной спектроскопии (в диапазоне частот $1 \div 10^6$ Гц) обладают достаточно высокой проводимостью $6,0 \cdot 10^{-3} \text{ См/см}$ и $3,3 \cdot 10^{-3} \text{ См/см}$, что позволит создать на их основе гибкие электропроводящие элементы для сенсорных устройств.

Работа выполнена в рамках проекта БРФФИ №Т22КИТГ-005и ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограмма «Многофункциональные и композиционные материалы» задания 8.4.2.2.

Литература

1. Л.Н.Филиппович, Ж.В.Игнатович, Х.А.Новик. Композитные пленки на основе поливинилового спирта с добавками полианилина и наночастиц магнетита, золота и серебра. // Сборник трудов 15 международной конференции «Пленки и покрытия–2021». С. 136-139.



УГЛЕРОДНЫЙ МАТЕРИАЛ С ПОКРЫТИЯМИ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА

**Авдеева Е. В., Лемешонок С. Н., Новик Х. А.,
Филипович Л. Н., Игнатович Ж. В.,
Рогачев А. А.**

*Институт химии новых материалов НАН Беларуси,
г. Минск*

Углеродные материалы относятся к инертным сорбентам, однако их активность и селективность можно повысить путем химической модификации поверхности. Такой подход позволяет на микро- и наноуровне обеспечить формирование модифицирующих слоев, сохраняющих высокие сорбционные параметры углеродной ткани, и придать новые биологические (антибактериальные и антиоксидантные) свойства. Формирование слоев модифицирующих покрытий реализуется путем оптимизации параметров (концентрации, времени и толщины), а также предварительной обработки поверхности химическим травлением, УФ-облучением что обеспечивает необходимое распределение и выделение модифицирующих слоев. Покрытий на основе природных биodeградируемых полимеров – коллаген, желатин и хитозан используются для раневых повязок [1]. Они биосовместимы, легко усваиваются организмом, совместимы с большинством лекарственных веществ, к тому же их природные источники неограниченны. Хитозан стимулирует заживление ран на первых стадиях, а также препятствует образованию грубых рубцов [2], хорошо проводит воздух к заживляемой поверхности. Таким образом, раневые покрытия на основе хитозана, представляют большой практический интерес в современной хирургии.

В работе использовали сорбент угольный тканевый марки АУТ-М-2-100 с поверхностной плотностью 195 м²/г, производства ОАО «СветлогорскХимволокно». Углеродный материал активировали УФ-облучением в течении 2-3 часов или обраба-

тивали раствором Пиранья с последующим отмыванием дистиллированной водой. В качестве пропиточных составов использовали 1,5÷2,0 % растворы хитозана (CAS 9012-76-4, Sigma Aldrich) в 1 %-ом растворе уксусной кислоты. Для формирования пористой структуры «губки» в пропиточный раствор добавляли гидрокарбонат аммония.

Адсорбционные свойства исходных и модифицированных образцов оценивали по краевому углу смачивания при объеме капли 5 мкл. Определение времени смачивания, сорбционной емкости проводили в соответствии с ГОСТ Р 53498-2019.

Установлено, что после модифицирования растворами хитозана адсорбция углеродного материала возрастает на 18 %. Использование хитозановой губки для формирования многослойной конструкции позволяет увеличить сорбционную емкость на 27 % в сравнении с оригинальным материалом.

Литература

1. Kabiri, M. Preparation and characterization of absorbable hemostat cross-linked gelatin sponges for surgical applications / M. Kabiri, S.H. Emami, M. Rafinia, M. Tahriri // *Current Applied Physics*. – 2011. – Vol. 11, Issue 3, May. – P. 457–461.
2. Воздействие хитозана на ультраструктуру клеток патогенных и условно патогенных микроорганизмов / В.М. Бондаренко, О.В. Рыбальченко, Н.Б. Вербицкая, С.Ф. Антонов // *Материалы VIII Международной конференции «Современные перспективы в исследовании хитина и хитозана»* (13–17 июня) : тез. докл. – Казань, 2006. – С. 175–179.



ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ КВЕРЦЕТИНА НА ЗАЩИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТИЙ ПОЛИЛАКТИДА

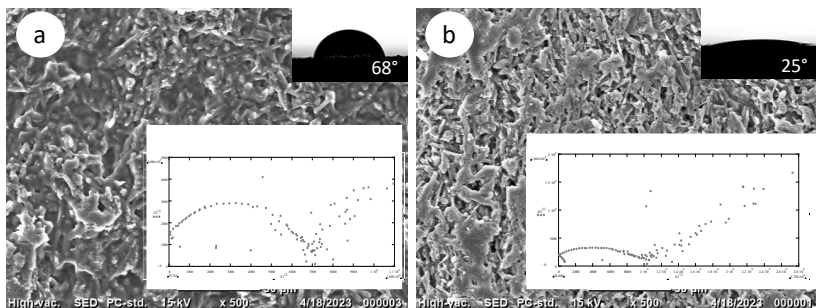
Авдеева Е. В., Рогачев А. А.

*Институт химии новых материалов НАН Беларуси,
г. Минск*

На сегодняшний день коррозия считается одной из основных причин высоких затрат на техническое обслуживание во многих отраслях промышленности. Одним из высокоэффективных способов снижения коррозии является использование природных ингибиторов коррозии. Они эффективно работают в различных концентрациях кислот, имеют низкую токсичность или вообще не токсичны и экологически безопасны. Для получения природных ингибиторов используют биополимеры, ионные жидкости и экстракты плодов и листьев (например, кверцетин). Кверцетин содержится в овощах и фруктах, что доказывает низкую токсичность и биоразлагаемость.

Объектом исследования служили стальные пластины марки 34ХН1М размером 2,9×2,9 см с покрытиями на основе полилактида (PLA, Sigma Aldrich) и кверцетина. Импеданс измеряли с помощью потенциостата-гальваностата Р-45Х с модулем измерения электрохимического импеданса на частотах $1 \div 3 \cdot 10^5$ Гц в присутствии 0,1 М раствора NaCl. Влияние стойкости покрытия к внешним факторам определяли с помощью УФ-облучения. Изменение поверхности покрытия изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа (JEM-6000, Jeol, Япония). Поверхностные свойства покрытия исследовали с помощью угла смачивания (КУС).

Анализ полученных диаграмм Найквиста позволил установить, наличие полуокружностей, центр которых в первом случае слабо смещен, а во втором случае значительно ниже оси абсцисс. Данный факт указывает, что в первом случае формируется бездефектный защитный слой, оценочное сопротивление коррозии которого достаточно высоко и равно порядка 6 кОм,



СЭМ-изображения покрытия ПЛА-кверцетин на стали после погружения в 0,1 М раствор NaCl (а) после 12 часов УФ (б). На вкладках углы смачивания и диаграммы Найквиста

что соответствует диаметру окружности годографа и может свидетельствовать об его эффективной защите от коррозии подложки. Длительное УФ-облучение способствует образованию на поверхности покрытия углублений и мелких трещин, КУС снижается с $68 \pm 2,3^\circ$ до $25 \pm 2,2^\circ$. На годографе наблюдаются несколько окружностей, диаметры которых не превышают 6 кОм, что может свидетельствовать об уменьшении сопротивления коррозии данных слоев вследствие их более дефектной структуры. Однако учитывая данные низкой стойкости однокомпонентных пленок ПЛА к УФ-облучению и практически полному разрушению при данных режимах облучения [1], можно утверждать о достаточно высоких защитных характеристиках тонких композиционных слоев на основе ПЛА и кверцетина.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия» на 2021–2025 годы, Комплексное задание 2.4.2, НИР 1 и БРФФИ T22КИТГ-005.

Литература

1. Composition materials based on polylactide with lignin for production of biodegradable packaging / A.E. Shumskaya, T.V. Zhidko, P.D. Tsyapkina, V.A. Dobysh, N.V. Koktysh, V.A. Tarasevich, E.A. Avdeeva, Zh.V. Ihnatovich, A.A. Rogachev, V.E. Agabekov // Advanced Physical Research. – 2021. – Vol. 3, № 2. – P. 68–74



ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА НЕТКАНЫХ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Авдеева Е. В.^{а)}, Михалко А. М.^{б)},
Петкевич А. В.^{а)}, Рогачев А. А.^{а)}, Агабеков В. Е.^{а)}**

*^{а)} Институт химии новых материалов НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь*

*^{б)} Межд. Китайско-Белорусская научная лаборатория
вакуумно-плазменных технологий, Гомельский гос.
университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь*

Известно, что влажность воздуха и температура влияют на адсорбционные свойства фильтрующего материала и зависит от нескольких факторов. Такие параметры, как гигроскопичность частиц и их размер, природа, диаметр волокон и их способность сорбировать воду. Влажность является наиболее важным параметром, который влияет на эффективность фильтрации, стойкость и срок службы фильтрующих материалов [1, 2].

В качестве образцов использовали полипропиленовые нетканые материалы (100x100 мм) марок Aquasun с поверхностной плотностью 90 г/см² (производство «СветлогорскХимволокно», Беларусь). Нанесение модифицирующих покрытий производилось раствором методом и из газовой фазы, генерируемой электронно-лучевым диспергированием политетрафторэтилена (PTFE), октенидина дигидрохлорида (ОСТ), порошков Ag, Cu, Mg в вакууме.

Поверхностные свойства модифицированных образцов оценивали по краевому углу смачивания (КУС) воды объемом 5 мкл. Оценку эффективности воздушной фильтрации (ЭВФ) проводили на экспериментальном лабораторном стенде [3].

Влияние температуры на адсорбционные свойства Aquasun с модифицирующими слоями Cu+PTFE+Mg, PTFE-ZnO, PTFE-

Ag, PTFE-ОСТ, ОСТ-ПЭГ, ZnO-ПЭГ при температуре 100 °С в течение 6 часов (таблица 1).

Повышение температуры хранения модифицированных материалов приводит к увеличению КУС и ЭВФ для всех образцов, эффект связан с десорбцией воды из композиционного нетканого материала и гидрофобными свойствами PTFE.

Влияние влажности на адсорбционные свойства Aquaspun с модифицирующими слоями Cu+PTFE+Mg, PTFE-ZnO, PTFE-Ag, PTFE-ОСТ, ОСТ-ПЭГ, ZnO-ПЭГ при температуре (20 ± 0,5) °С и относительной влажностью 70 % в течение 14 суток (таблица 2).

Таблица 1. Значения краевого угла смачивания и ЭВФ модифицированного Aquaspun с различной температурой

Образец		КУС, тем-ра 20°	ЭВФ %, тем-ра 20°	КУС, тем-ра 100°, 6 часов	ЭВФ %, тем-ра 100°, 6 часов
1	Aquaspun Cu+PTFE+Mg	138.9 ±2.4	87.57±0.31	139.5±2.5	85.26±0.29
2	Aquaspun PTFE-ZnO	113.2±2.5	71.13±0.44	130.6±2.3	83.11±0.31
3	Aquaspun PTFE-Ag	123.4±2.1	69.55±0.49	129.9±2.1	82.48±0.20
4	Aquaspun PTFE-ОСТ	108.1±2.1	73.26±0.20	137.4±2.2	88.91±0.24
5	Aquaspun ОСТ-ПЭГ	107.9±2.4	53.50±0.37	136.7±2.5	57.41±0.40
6	Aquaspun ZnO-ПЭГ	127.2±2.3	61.62±0.19	130.1±2.1	60.60±0.52

Таблица 2. Значения краевого угла смачивания и ЭВФ модифицированного Aquaspun с различной относительной влажностью

Образец		КУС, ф 46 %	ЭВФ %, ф 46 %	КУС, ф 70 %, 14 суток	ЭВФ % ф 70 % 14 суток
1	Aquaspun Cu+PTFE+Mg	138.9 ±2.4	87.57±0.31	146.4±2.1	89.54±0.35
2	Aquaspun PTFE-ZnO	113.2±2.5	71.13±0.44	131.9±2.2	85.73±0.30
3	Aquaspun PTFE-Ag	123.4±2.1	69.55±0.49	139.3±2.3	88.21±0.42
4	Aquaspun PTFE-ОСТ	108.1±2.1	73.26±0.20	134.9±2.2	88.52±0.16
5	Aquaspun ОСТ-ПЭГ	107.9±2.4	53.50±0.37	131.6±2.1	56.38±0.53
6	Aquaspun ZnO-ПЭГ	127.2±2.3	61.62±0.19	136.0±2.4	70.67±0.40

После хранения модифицированных материалов во влажной среде (70 %) наблюдается значительное увеличение КУС.

Повышение температуры хранения модифицированных материалов приводит к увеличению КУС и ЭВФ для всех образ-

цов, по-видимому этот эффект связан с десорбцией воды из композиционного нетканого материала и гидрофобными свойствами PTFE.

Для Aquaspun с покрытиями PTFE характерно увеличение КУС и ЭВФ (Aquaspun Cu+PTFE+Mg КУС с 138.9° до 146.4°, ЭВФ с 87.57 % до 89.54 %; Aquaspun PTFE-Ag КУС с 123.4° до 139.3°, ЭВФ с 69.55 % до 88.21 %).

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ X21Y3BG-030.

Литература

1. D.W. Hu, L.P. Qiao, J.M. Chen, X.N. Ye, X. Yang, T.T. Cheng, W. Fang, Hygroscopicity of inorganic aerosols: Size and relative humidity effects on the growth factor, *Aerosol Air Qual. Res.* 10 (3) (2010) 255–264.
2. D.A. Japuntich, J.I.T. Stenhouse, B.Y.H. Liu, Experimental results of solid monodisperse particle clogging of fibrous filters, *J. Aerosol Sci.* 25 (2) (1994) 385–393.
3. Modification of nonwoven polymer materials for increasing of their filtration and antibacterial properties Ekaterina Avdeeva, Anna Petkevich, Alexey Mikhalko, 06 September 2023 <https://doi.org/10.1002/pen.26489>.



СИНТЕЗ НАНОТРУБОК НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛА КАОЛИНА СУЛТАН УВАЙС

Маматкодиров Б. Д.^{а)}, Якубов Й. Ю.^{а)},
Сидоренко А. Ю.^{б)}, Агабеков В. Е.^{б)},
Ибрагимов А. Б.^{а)}

*а) Институт общей и неорганической химии
АН Республики Узбекистан, г. Ташкент*

*б) Институт химии новых материалов НАН Беларуси,
г. Минск*

Данная работа направлена на получение наноматериалов – алюмосиликатных нанотрубок (АНН) из образцов, отобранных на каолиновом руднике Султан Увайс, расположенном в Республике Узбекистан. Известно, что АНН являются высокоэффективными катализаторами и адсорбентами. При этом АНН отличается рядом необходимых качеств, таких как высокая площадь поверхности, сильные каталитические активные центры и высокие адсорбционные свойства. АНН имеют большое значение в ряде отраслей промышленности, включая фармацевтическую, нефтегазовую и экологическую, поскольку обладают высокой реологической и химической инертностью, малой токсичностью или ее отсутствием [1, 2].

Каолиновую глину Султан Увайс сначала промывали соляной кислотой от примесей по следующей методике: 30 г глины, 150 мл 5 %-ного раствора HCl помещали в трехгорлую колбу, нагревали до 80°C и выдерживали при этой температуре за 1 ч. смешано. Затем осадок в колбе отделяют и промывают дистиллированной водой до исчезновения ионов хлора. Затем сушили при 105°C в течение 3 ч и фракционировали (100 мкм). Промытая глина имеет следующий состав (% по массе): Al₂O₃ (32,74), SiO₂ (56,57). Дальнейшая обработка каолина Султан Увайс проводилась по методике, описанной на рис. 1.

В результате был получен материал, содержащий алюмосиликатные нанотрубки длиной 800÷1100 нм и внешним диаметром 50÷60 нм. Доказательство этого можно увидеть на СЭМ-изображении нанотрубок (рис. 2).

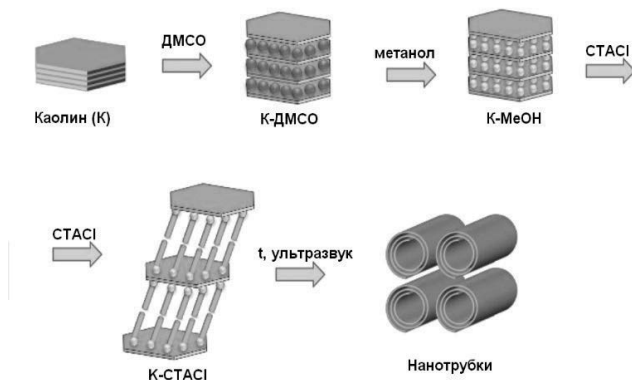


Рис. 1. Этапы получения нанотрубок из каолиновой глины Султан Увайс

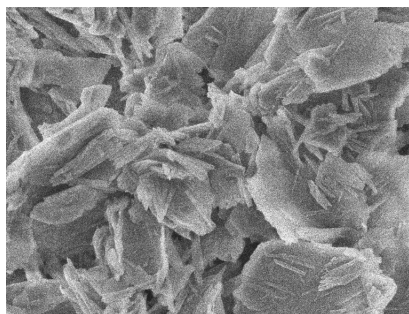


Рис. 2. СЭМ-изображение нанотрубок, полученных из каолиновой глины Султан Увайс

Таким образом, в результате последовательной обработки каолиновой глины Султан Увайс диметилсульфоксидом, метанолом (7 мл/г) и раствором хлорида этилтриметиламмония при температуре $60 \div 66^\circ\text{C}$, были получены нанотрубки длиной до 1100 нм и диаметром $40 \div 60$ нм.

Литература

1. A.Streubel, J.Siepmann, R.Bodmeier Int. J. Pharm., 241 (2002 y.), b.279.
2. A.Yu.Sidorenko, A.V.Kravtsova, A.Aho, I.Heinmaa, H.Pazniak, K.P.Volcho, N.F.Salakhut-dinov, D.Yu.Murzin, V.E.Agabekov, J.Catal., 2019, 374, 360–377.



ON-LINE УЧАСТИЕ



ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫЕ КОМПОЗИТЫ НА БАЗЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ, УСИЛЕННЫЕ ВОЛОКНАМИ ДРЕВЕСИНЫ

Коновалов Д. С., Зуев В. В.

*Национальный исследовательский университет
ИТМО, Санкт-Петербург, Россия*

Основываясь на подходе «зеленой» химии, нами были получены полиуретановые композиты в основе, которых применялись природные полиолы (касторовое масло), наполненные древесными волокнами березы различной размерности.

Разработана и отработана методика с применением технических решений, для равномерного внедрения в полиольную часть волокон березы размерностью от 2÷50 мкм с помощью дисольвера и трехвальной краскотерной роликовой машины. Для лучшего анализа полученных данных получены полиуретановые композиты, наполненные пирогенным диоксидом кремния, лигнином и микротальком.

Данная методика применялась для равномерного распределения наполнителя в полиуретановой матрице. Методами ИК-спектроскопии и СЭМ-микроскопии определена микроструктура полученных композитов и установлена взаимосвязь получаемой структуры от количества наполнителя.

Установлена предельная концентрация наполнителя, в размере 20 мас. %, позволяющая получить оптимальные физико-механические и эксплуатационные характеристики. В таблице 1 приведены сравнительные показания относительно ненаполненного полимера и различных наполнителей.

Наилучшими характеристиками обладает композитный материал с наполнением волокон березы. С помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) было выявлено, что при применении разработанной технологии волокна хорошо смачиваются полиуретановой матрицей, при этом, за счет реакции с гидроксильными группами целлюлозы и лигнина, образует-

ся прочная межфазная граница, которая обеспечивает высокое усиление композита за счет трансфера механической прочности с наполнителя на полимерную матрицу.

Таблица 1. Физико-механические параметры композитного полиуретана с различными наполнителями

Наполнитель	Прочность на разрыв, %	Относительное удлинение, %	Адгезия к металлу, %
Касторовое масло	0,8	35,1	2
Микротальк 05-80	Возросла на 230 %	Возросло на 1,7	Возросла на 215
Лигнин	Возросла на 350 %	Снизилось на 2,5	Возросла на 168,5
Диоксидом кремния	Возросла на 550 %	Возросло на 6,7	Возросла на 181
Древесные волокна березы	Возросла на 890 %	Снизилось на 3,9	Возросла на 185,5

Выявлены причины формирования вспенивания получаемого композитного материала. Была разработана и отработана технология по получению монолитного полиуретанового материала на касторовом масле. Технология включает в себя:

1. Сушка наполнителя в течение 24 часов при температуре 120 °С.

2. Подготовка наполненного касторового масла на дисольвере с применением насадки в виде фрезы.

3. В касторовое масло при замешивании ввести до 1 % цеолита.

4. Ввод в касторовое масло от 10 до 20 % наполнителя.

5. Полученное наполненное касторовое масло пропустить через трехваловую краскотерную роликовую машину с расстоянием между валами начиная 100÷1000 мкм.

6. Далее для лучшего смачивания наполнителя с касторовым маслом выдержать полученную смесь в термостате при температуре 113 °С.

Выводы: В ходе исследования было установлено, что наилучшими параметрами обладает полиуретан на касторовом масле

с добавлением 20 % древесных волокон березы при применении разработанной технологии. Установлено, что при применении описанной технологии наполнитель равномерно распределяется в полиуретановой матрице, встраиваясь в ее структуру с отсутствием межфазной границы.



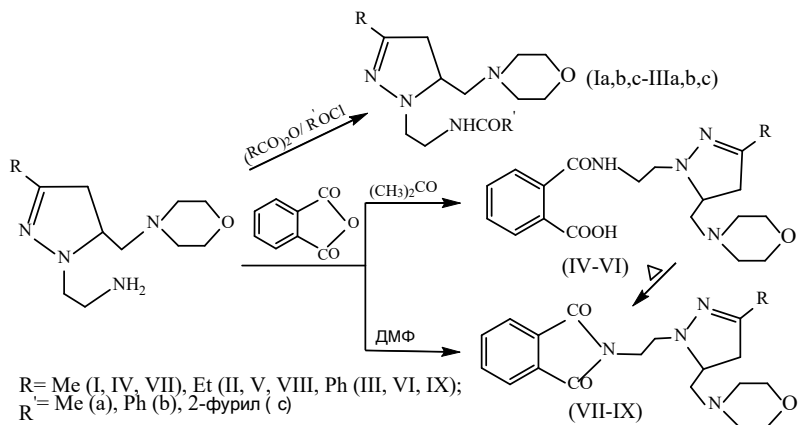
ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ 1-(2-АМИНОЭТИЛ)-3-АЛКИЛ-(АРИЛ)-5- МОРФОЛИНОМЕТИЛПИРАЗОЛИНОВ С АНГИДРИДАМИ

**Шатирова М. И., Караева А. Р.,
Нагиева Ш. Ф., Гаджиева Л. Й.,
Мамедова Г. М.**

*Институт полимерных материалов
Министерство Науки и Образования Азербайджана,
г. Сумгаит
mshatirova@mail.ru*

Производные пиразолинов находят широкое применение при получении эффективных лекарственных препаратов, химических средств защиты растений и красителей [1–5]. Поэтому поиск методов синтеза новых производных этого ряда представляет как научный, так и практический интерес. При этом особый интерес представляет синтез производных пиразолинов с фармакофорным фрагментом.

С целью получения новых производных пиразолина изучено их взаимодействие с ангидридами. Найдено, что хлорангидриды или ангидриды монокарбоновых кислот легко вступают в реакции с приазолином с образованием 1-(ациламиноэтил)-5-морфолинометилпира-золинов (Ia-c-IIIa-c). Показано что, направление взаимодействия пиразолинов с ангидридом фталевой кислоты зависит от температуры. При 25÷30 °С в среде ацетона образуются N-(5-морфолинометилпиразолил-1-)этиламинофталевые кислоты (IV-VI), а при кипячения в среде ДМФА образуются N-(5-морфолинометилпиразолил-1-)этилимидофталевые кислоты (VII-IX):



Установлено, что при кипячении амидокислот (IV–VI) в среде ДМФА в течение 3 часов они подвергаются дегидратации и внутримолекулярной циклизации, превращаясь в соответствующие имиды (VII–IX). Это показывает, что реакция протекает через промежуточную стадию образования амидокислот.

Литература

1. Спасов А.А., Иежица И.Н., Бугаев Л.И. // ХФЖ. – 1999. – Т. 33, № 5. – С. 17.
2. Machado V., Cenci A.R., Teixeira K.F., et al. //RSC Med Chem. – 2022. – Vol. 13, No 12. – P. 1644–1656.
3. Mantzanidou M., Pontiki E., Hadjipavlou-Litina D. // Molecules. – 2021. – Vol. 26, № 11. – P. 3439–3457.
4. Amir M., Kumar H., Khan S.A. //Bioorg. Med. Chem. Lett. – 2008. – Vol. 18, № 3. – P. 918–922.
5. Kumar S., Bawa S., Drabu S., Kumar R., Gupta H. //Recent Pat Antiinfect Drug Discov. – 2009. – Vol. 4, № 3. – P. 154–163.



СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ЭПОКСИСПИРТОВ ЦИКЛОГЕКСАНОНЕ

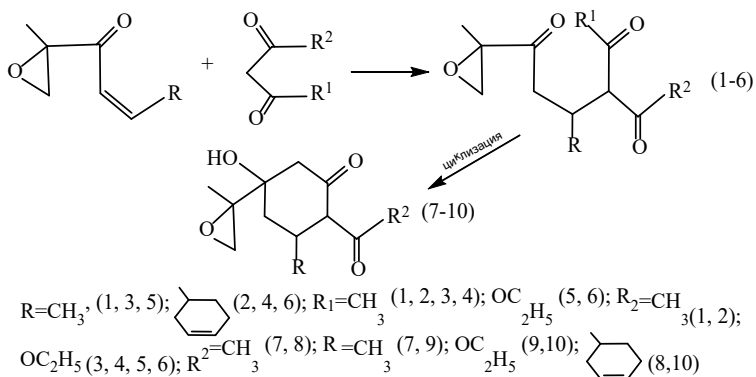
**Шатирова М. И.^{а)}, Гуснев Н. Х.^{а)},
**Джафарова У. Ш.^{б)}, Джафарова Н. Т.^{а)},
Алиева А. О.^{а)}****

*^{а)} Институт полимерных материалов Министерство
Науки и Образования Азербайджана, г. Сумгаит*

*^{б)} Институт химии присадок им. академика
А. М. Гулиева Министерство Науки и Образования
Азербайджана, г. Баку*

Циклогексаноны и их производные благодаря своей полифункциональности (карбонильной, гидроксильной, сложноэфирных групп) и благоприятному взаимному расположению функциональных групп в молекуле, вступают в реакции с различными нуклеофильными реагентами, образуя структурно сложные карбо- и гетероциклические производные, обладающие практически полезными свойствами, в том числе биологической активностью (антимикробная, антиоксидантная, антифаговая активность, анальгетическое, жаропонижающее) [1-3]. Поэтому синтез, изучение физических, химических и биологических свойств, а также установление практической ценности циклогексанонов свидетельствуют об актуальности их исследования не только в теоретическом, но и прикладном аспекте.

Учитывая вышеизложенное и продолжение ранних исследований, в настоящей работе нами исследованы реакции взаимодействия α,β -непредельные эпоксикетоны алифатического с β -дикетонами – ацетилацетоном, ацетоуксусным и малоновым эфирами. В результате исследования установлено, что непредельные эпоксикетоны – 2-метил-1,2-эпокси-4-гексен-3-он и 2-метил-5-(циклогекс-3-енил)-1,2-эпокси-4-гексен-3-он – в присутствии этилата натрия при 25°C в течение двух часов легко вступают в реакцию присоединения по Михаэлю с ДК.



Строение синтезированных соединений **1-6** подтверждено данными ИК и ЯМР спектроскопии. В ИК-спектрах соединений **1-6** имеются следующие характеристические частоты (ν , см⁻¹): 1704–1725 (C = O), 1735–1753 (C = O_{эфир}), 830–870, 1240–1263 (эпок), 1610–1630 (C = C_{циклогекс}), 3430–3560 см⁻¹ (ОН-группа).

Литература

1. Шокова Э.А., Ким Дж.К., Ковалев В.В. // ЖОрХ. – 2015. – Т. 51. № 6. С. 773–847.
2. Najra A., Wei Y., Yoshikai N. // Org. Lett. – 2012, № 14. – P. 5488–5491.
3. Исмиев А.И., Гулиева Н.А., Нагиев Ф.А. и др. // Хим. проб. – 2016, № 1. – С. 74–79.
4. Гусиев Н.Х., Ибрагимова Ф.М., Гулиев Ф.Д., и др. // Азерб. Хим. Ж. – 2011, № 3. – С. 12–124.
5. Велиев М.Г., Салманов М.А., Шатирова М.И. и др. // «Альтернативные источники сырья и топлива» (Сб. науч. тр.) (АИСТ-2014), Минск, С. 203–210.



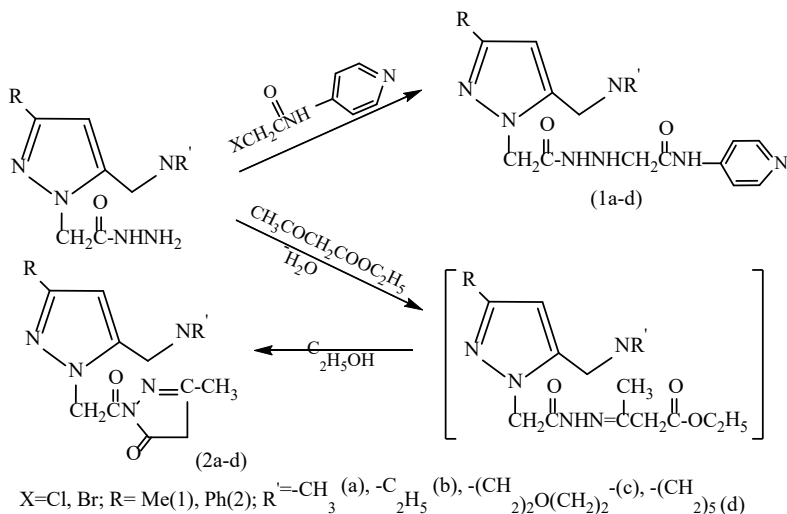
ФУНКЦИОНАЛЬНОЗАМЕЩЕННЫЕ КАРБАЗОИЛМЕТИЛПИРАЗОЛЫ В СИНТЕЗЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

**Шатирова М. И., Кареева А. Р.,
Нагиева Ш. Ф., Гаджиева Л. Й.,
Мамедова Г. М.**

*Институт полимерных материалов
Министерство Науки и Образования Азербайджана,
г. Сумгаит
mshatirova@mail.ru*

Производные пиразола обладают широким спектром биологической активности. Пиразол и его производные имеют широкое применения в качестве противораковых, противомикробных, противовирусных, противогрибковых, противовоспалительных, обезболивающих, инсектицидных и др. средств [1–6]. Поэтому исследования в этом направлении представляет большой интерес.

В настоящей работе с целью получения новых производных пиразола, было изучено взаимодействие функционально замещенных карбазоилметилпиразолов с α -галогенкетонами и этиловым эфиром ацетоуксусной кислоты. Показано, что при конденсации гидразида с указанными кетонами (α -галогенкетонами и ацетоуксусным эфиром) в спиртовой среде, образуются соответствующие кетоны. При реакции гидразида с этиловым эфиром ацетоуксусной кислоты образующейся на первой стадии гидразоны, подвергаются внутримолекулярной циклизации и приводят к образованию новых производных пиразола с дикарбонильными фрагментами (1a-d, 2a-d) по следующей схеме:



Синтезированные соединения (1a-d, 2a-d) представляют собой кристаллы белого цвета, растворимые во многих полярных и неполярных органических растворителях.

Состав и строение синтезированных соединений подтверждены данными ИК- и ПМР-спектроскопии.

Литература

1. Ebenezer O., Shapi M., Tuszyński J.A. // *Biomedicines*. – 2022. – Vol. 10. – P. 1124–1181.
2. Ansari A., Ali A., Asif M. // *New Journal of Chemistry*. – 2017. – Vol. 41. N 16. – P. 16–41.
3. Dilipkumar P. *Pyrazole: Uses*. New York: Nova Science Publishers, 2020. 563 p
4. Ríos M.-C., Portilla J. // *Chemistry*. – 2022. – Vol. 4. – P. 940–968.
5. Simpal K., Paliwal S., Chauhan R. // *Synthetic Communications*. – 2014. – Vol. 44. N 11. – P. 1521–1578.
6. Naim M.J., Alam O., Nawaz F., Alam M.J., Alam P. // *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*. – 2016. – Vol. 8. – P. 2–17.



МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩАЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ПРИСАДКА СУКЦИНИМИДНОГО ТИПА

**Гамидова Д. Ш., Исаков Э. У., Гасанова М. А.,
Исмаилова Р. М., Аллахвердиева Г. Р.**

*Институт химии присадок им. академика А. Кулиева
Министерства науки и образования Азербайджана,
г. Баку*

Сукцинимидные присадки (СП) являются одним из основных типов присадок к моторным маслам и обладают высоким комплексом моюще-диспергирующих свойств [1].

Ввиду того, что СП – единственные присадки, не образующие низкотемпературные отложения в моторных маслах и обладающие многофункционально-детергентно-диспергирующим действием, синтез СП представляет интерес.

Ранее нами получены СП на основе олигомеров гексена-1 со стиролом, гексена-1 с инденом и гексена-1 с дициклопентадиеном [2-4]. Реакция указанных олигомеров с малеиновым ангидридом проводили в токе азота при температуре 200÷220 °С в течение 8÷10 ч. Полученные алкенилянтарные ангидриды олигомеров далее взаимодействуют с диэтилентриамином с получением соответствующего алкенилсукцинимиды олигомера. Такие присадки, помимо моюще-диспергирующих, обладают антикоррозионными свойствами.

В настоящее время потребителями выдвигаются требования к созданию присадок, обладающих многофункциональными свойствами. Наиболее эффективным является введение в СП атомов молибдена (Mo) и бора (B). Полученные продукты наряду с моюще-диспергирующими свойствами могут обладать антиокислительными, антинагарными, противоизносными и другими свойствами [1].

Поскольку максимальный эффект наблюдается при введении в присадку атомов Mo, нами была проверена возможность

модификации СР на основе олигомеров гексена-1 со стиролом молибденом.

Модифицированную присадку получали взаимодействием сукцинимида олигомеров гексена-1 со стиролом с аммонием молибдата в присутствии растворителя – толуола, обеспечивающего гомогенность реакционной массы.

Исследовано влияние мольного соотношения молибден: олигосукцинимида, а также продолжительности реакции на глубину протекания процесса. Взаимодействия молибдена с СП и установления предполагаемой структуры образующихся продуктов был доказан методом ИК-спектроскопии.

Исследование влияния новой синтезированной присадки на физико-химические и функциональные свойства масел по сравнению с известными СП, такими как С-5А (получен на основе полиизобутилена), ИХП-476 (получен на основе соолигомера изобутилена со стиролом) и синтезированными нами в лаборатории АКІ-634 (на основе соолигомера гексена-1 со стиролом) и АКІ-635 (на основе соолигомера гексена-1 с инденом) показали, что Мо-содержащая СП, придает синтезированному соединению дополнительные противозносные свойства, что позволяет разработать смазочную композицию более простого состава.

Литература

1. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам. Л: Химия, 1985. – 315 с.
2. Hasanova E.I., Nazarov R.H, Hamidova C.S, Isakov E.U. // Journal of Chemical Problems. – 2018. – № 2 (16). – P. 245–249.
3. J.Sh.Hamidova, E.U.Isakov, E.I.Hasanova, N.J.Huseynova // Azerbaijan Chemical Journal. – 2023. – №1. – P. 549–554.



BIOLOGICAL DEGRADATION OF THE FIRST HAZARD CLASS ECOTOXICANT – WHITE PHOSPHORUS

**Mindubaev A. Z.^{a)}, Babynin E. V.^{b)},
Minzanova S. T.^{c)}**

a) Kazan National Research Technological University

b) Tatar Research Institute of Agricultural Chemistry and Soil Science – Subdivision of the Federal Research Center “Kazan Scientific Center of Russian Academy of Sciences”

c) A. E. Arbuzov Institute of Organic and Physical Chemistry, FRC of Kazan Scientific Center of Russian Academy of Sciences

White phosphorus is one of the most toxic pollutants. Because it is used for military purposes and large-scale industrial production, this substance ends up in the environment. As an element in the Mendeleev Table, phosphorus has a unique property. It is extremely hazardous in the form of simple substances and reduced compounds. However, in the form of phosphate, in its fully oxidized state, it is a biogenic element essential to all forms of life, including us humans. Therefore, white phosphorus has prerequisites for biodegradation.

In a series of studies, for the first time, cultures of fungi were inoculated in culture medium containing white phosphorus as the sole source of phosphorus. For the first time, cultures of microorganisms growing in media containing up to 1 % white phosphorus were obtained. This is a 5000-fold excess of the MPC of this substance in wastewater. Microorganisms did not experience phosphorus starvation in these media, they grew and began to multiply. That is, they obtained the phosphate necessary for their vital activity through oxidation of white phosphorus. Moreover, spores of the described microorganism were isolated from white phosphorus stored in the water column. We identified the microorganism as a new strain of *Aspergillus niger*. It was named AM1 [1].

The origin of the studied strain was established according to the phylogenetic tree created for it. Strains of *A. niger* isolated in different countries of the world were used for comparison. AM1 belongs to the cluster of strains distributed in South Asia. The strains most related to AM1 are black aspergillus strains from soybean fields near Nanjing, China, which are capable of solubilizing (dissolving) soil phosphate minerals, allowing them to compensate for shortages of bioavailable phosphorus in the environment.

China today produces more than 70 % of white phosphorus in the world, so the substance (and with it the spores of detected microorganisms) could have been imported to Russia from this country.

Interestingly, in one of the crossings, we obtained a daughter strain of the fungus *A. niger* AM2, even more adapted to growth in medium with white phosphorus. We are currently investigating the biodegradation with AM1 and AM2 of substances that do not contain phosphorus – oil and petroleum products, wood and wood products.

When exposed to white phosphorus, changes in electron density and cell wall thickness are observed. There is also a significant increase in the number of mitochondria in the cells.

This is the world's first described example of the inclusion of white phosphorus in the phosphorus biosphere cycle.

Literature

1. Mindubaev A.Z., Babynin E.V., Bedeeva E.K., Minzanova S.T., Mironova L.G., Akosah Y.A. Biological Degradation of Yellow (White) Phosphorus, a Compound of First Class Hazard // Russian Journal of Inorganic Chemistry. – 2021. – Vol. 66. – № 8. – P. 1239–1244. DOI: 10.1134/S0036023621080155



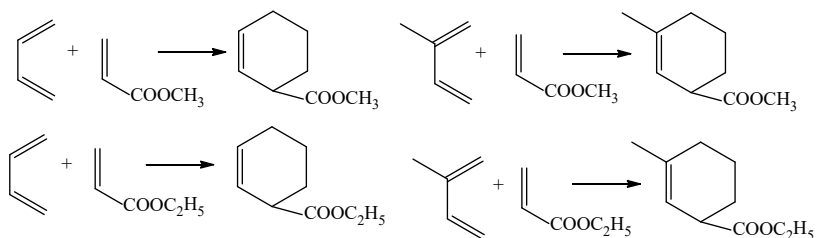
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКЦИИ C₄-C₅ ПИРОЛИЗА НИЗКООКТАНОВОГО БЕНЗИНА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК

**Нагиева М. В., Алиева К. Ш., Курбанова У. Р.,
Расулов Ч. К.**

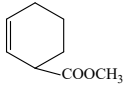
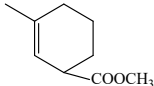
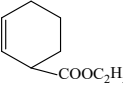
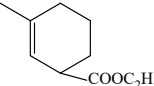
*Институт нефтехимических процессов
Министерства Науки и Образования, г. Баку,
Азербайджан*

Пиролиз углеводородного сырья различного происхождения является одним из основных процессов в нефтехимии, который направлен в основном на получение низших олефинов (этилен и полиэтилен), но наряду с ними получают и побочные многотоннажные газообразные и жидкие продукты пиролиза. В настоящее время эти побочные продукты, получаемые в ходе пиролиза, не нашли своего применения, они либо транспортируются зарубеж без переработки, либо выбрасываются в атмосферу. С этой точки зрения, было бы целесообразным вовлечение побочных продуктов в нефтехимический синтез с получением более ценных продуктов нефтехимии.

В процессе исследований осуществлялось вовлечение в нефтехимический синтез фракций C₄ (с высоким содержанием дивинила) и C₅ (со значительным содержанием изопрена), являющиеся побочными продуктами процесса пиролиза низкооктанового бензина. Нами предлагается использование фракций C₄-C₅ для получения алкилирующего агента, применяемого в реакциях каталитического алкилирования фенола. Алкилирующие агенты были получены в ходе осуществления реакций Дильса-Альдера фракции C₄ (богатой дивинилом) и C₅ (с высоким содержанием изопрена) с метиловым (этиловым) эфиром акриловой кислоты. Физико-химические показатели синтезированных циклических эфиров приведены в таблице.



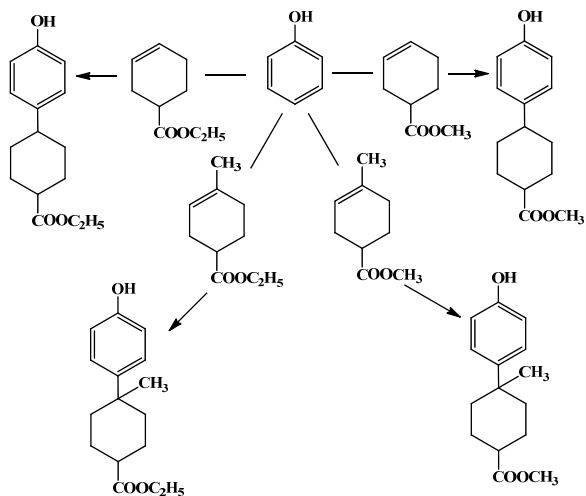
**Физико-химические показатели
эфирсодержащих алкилирующих агентов**

Синтезир. эфиры	$T_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	n_D^{20}	ρ_4^{20}	Мол. масса
	182–183	1.4626	1.0130	140
	197–198	1.4620	0.9865	154
	197	1.4600	0.9911	154
	211	1.4610	0.9701	168

Полученные выше циклические углеводороды были вовлечены в качестве алкилирующего агента в реакции каталитического алкилирования фенола.

Для осуществления реакции циклоалкилирования фенола в качестве катализаторов применялись как катиониты (КУ-23) (ГОСТ 20298), так и модифицированные цеолитсодержащие катализаторы (цеолит-У, пропитанный ортофосфорной кислотой (впервые синтезировано в ИНХП)). Реакцию получения эфирсодержащих алкилфенолов осуществляли во вращающемся реакторе объемом 1 л фирмы «Amar Equipments PVT.LTD» (Мумбаи, Индия) в атмосфере азота.

Взаимодействие фенола с метиловыми (этиловыми) эфирами в присутствии катализатора (КУ-23 или цеолит-У, пропитанного ортофосфорной кислотой) протекает в основном с образованием *n*-замещенного фенола:



Среди большого числа продуктов нефтехимии широкое распространение получили алкилфенолы как исходные реагенты в синтезе присадок к топливам и маслам, стабилизаторов, ингибиторов свободно-радикального окисления органических и биоорганических субстратов, гербицидов, душистых веществ и др. [1–3].

Применение антиоксидантов экономически выгодно, и в технически развитых странах их выработка опережает в своем развитии другие химические производства.

Известно, что содержание в структуре химических добавок сложных эфирных групп улучшает их растворимость в полимерах, маслах, дизельном топливе и др., это объясняется сильной полярностью этих групп. Эта их особенность наряду с растворимостью, улучшает и другие качественные характеристики используемого объекта.

Исходя из вышесказанного, можно сказать, что синтезированные нами эфирсодержащие циклоалкилфенолы являются

полупродуктами для получения эффективных антиоксидантов, стабилизаторов, оксигенатов для топлив, масел, полимерных материалов.

Литература

1. Chukicheva I.Y., Fedorova I.V., Koroleva A.A., Kuchin A.V. // *Chemistry of Natural Compounds*. – 2018. – Vol. 54. – № 1. – P. 1–6.
2. Mirzayev V.H., Agamaliyev Z.Z., Majidov E.A., Rasulov Ch.K., Manafov M.R // *Global Journal of Chemistry*. – 2017. – Vol. 3. – № 1. – P. 136–142.
3. Гасанов А.А., Курбанлы У.Р., Расулов Ч.К., Гейдарли Г.З., Нагиева М.В. // *Российский химический журнал*. – 2022. – Т. 66. – № 4. – С. 42–48.



ЗАОЧНОЕ УЧАСТИЕ



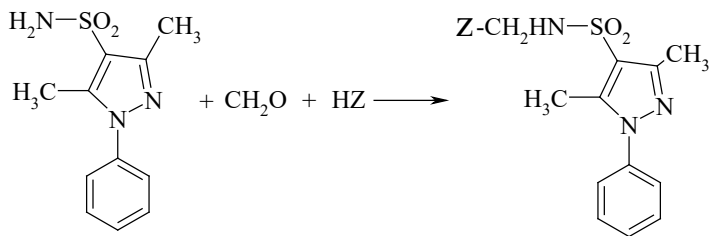
АМИНОМЕТИЛИРОВАНИЕ 1-АРИЛПИРАЗОЛ СОДЕРЖАЩИХ СУЛЬФОАМИДОВ

Мамедова С. И., Аскерова К. Т., Ладохина Н. П.

*Институт Химии Присадов им. акад. Али Гулиева
Министерства науки и образования Азербайджана,
г. Баку E-mail: alximikseva@mail.ru*

Среди гетероциклических соединений, вещества, содержащие сульфамидные группы, зарекомендовали себя не только как потенциальные лекарственные препараты, но и как пестициды, фунгициды, бактерициды, обладающие высокой биологической активностью [1–3]. Для синтеза широко используемых гетарилсульфамидов требуется получение новых N-замещенных производных сульфамидов, содержащих различные метиленактивные функциональные группы (аминные, карбонильные и др.) Для создания таких структур нами была использована реакция трехкомпонентной конденсации сульфамидов с параформом и соединениями, содержащими активный водород. Получение такого рода соединений, имеющих в 1,2- и 1,3-положениях полярные группы, позволит более полно раскрыть механизм внутримолекулярного и межмолекулярного взаимодействия сульфамидной и других функциональных групп. В дальнейшем это позволит выявить закономерности в синтезе труднодоступных гетарилсульфамидов при помощи реакций с диполярфилами.

Трехкомпонентная конденсация сульфамидов с параформом и другими соединениями является малоизученной реакцией. В рамках такого рода исследований нами была изучена аминометилирование молекулярной системы 1-арилпиразол сульфамидов в присутствии параформа и бензалдегида:



$Z = \text{NHCONHC}_4\text{H}_9 \text{ (I); NHCSNH}_2 \text{ (II); HN(CH}_2\text{CH}_2\text{)O (III);}$
 $\text{NH-CH}_2\text{-C}_6\text{H}_5 \text{ (IV)}$

Электроакцепторная сульфамидная группа положительно влияет на реакцию аминотилирования. Влияние заместителей пиразольного ядра на реакцию не ощутимо. При реакции метилирование с электродонорными аминами, так, например, бензиламином (IV) выходы целевых продуктов уменьшается до 10 %. В синтезированных соединениях (I – IV), кроме сульфамидной группы, в положении -3 и -4 имеются аминогруппы. Наличие электроотрицательной карбонильной группы в аминах приводит к увеличению напряженности молекулы, что сильно влияет на значение активации и на замыкание цикла в синхронных реакциях. Благодаря подвижности метиленовой группы они являются синтонами для синтеза гетероцикла.

Синтезированные соединения были исследованы в качестве присадок к смазкам. Установлено, что они обладают высокой антикоррозионной и противоизносной активностью. Содержание различных функциональных фрагментов в 1-арилпиразолметилсульфамидах придают им большую антимикробную эффективность.

Литература

1. Мамедова С.И. // Журн. Universum: химия и биология. – 2019. – № 5 (59). – С. 48–51.
2. Мамедов С.А., Мамедова С.И., Ладохина Н.П. и др. // Азерб. хим. журн. 2012. – № 2. – С. 48–52.
3. Мамедов С.А., Фарзалиев В.М., Ладохина Н.П. и др. // Азерб. хим. журн. – 2013. – № 4. – С. 40–47.



СИНТЕЗ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДИГИДРОПИРИМИДИНОВ

**Мамедова С. И., Ладохина Н. П.,
Аббасова Ш. Б., Аскерова К. Т., Алиев Э. Ю.**

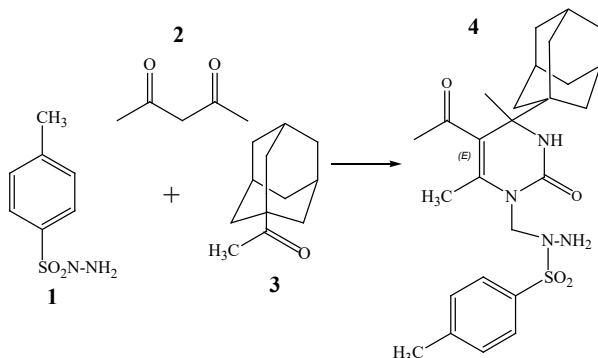
*Институт Химии Присадов им. акад. Али Гулиева
Министерства науки и образования Азербайджана,
г. Баку E-mail: aki05@mail.ru*

Производные пириимидина широко распространены в живой природе, где участвуют во многих важных биологических процессах. Такие производные как цитозин, тимин, урацил входят в состав нуклеотидов, являющихся структурными единицами нуклеиновых кислот, пириимидиновое ядро входит в состав некоторых витаминов группы В, в частности В₁, коферментов и антибиотиков.

Реакция Биджинелли, включающая взаимодействие альдегидов с 1,3-дикарбонильными соединениями, мочевиной или ее тиоаналогом, является одним из классических примеров мультикомпонентного синтеза 3,4-дигидропириимидин-2-онов [1]. Дигидропириимидины (ДГПИМ) широко используются в фармакологии благодаря антивирусной, антибактериальной, противовоспалительной активности [1]. Недавно функционализированные ДГПИМ проявили себя в качестве эффективных блокаторов кальциевых каналов [2], антигипертензивных средств [3], α_{1a} -адреноблокаторов и противораковых агентов [4, 5].

Принимая во внимание, что наличие в соединении сульфамидной группы с пириимидиновым кольцом значительно расширяет область применения дигидропириимидинов, была изучена реакция Биджинелли на основе метиленактивных сульфамидов для получения дигидропириимидинов, содержащих сульфамидную группу. Нами синтезированы метиленактивные сульфамиды различного состава и строения. На основе реакции аминометилирования тозилгидразида параформом и мочевиной впервые получен N-метилкарбамидо-4-метилфенилсульфогидразид (4).

В качестве дикарбонильного соединения был взят ацетилацетон (2), а в качестве кетона – 1-адамантилметилкетон (3). На основе трехкомпонентной конденсации в щелочной среде синтезирован 1-фенилсульфонил-4-адамантилметил-5-ацетил-6-метилдигидропиримидин-2-он:



Структура синтезированного соединения подтверждена спектрами ИК- и ЯМР. Известно, что замещенные 1-адамантилметилкетоны обладают несколькими реакционными центрами и являются ценными синтонами для синтеза соединений различных классов с полезными свойствами. Большое практическое значение имеют исследования взаимосвязи строения производных адамантана с их медико-биологическим действием, тем более что многие из производных адамантана обладают разнообразной биологической активностью, а такие препараты как «мидантан», «ремантадин», «тромантадин» сейчас широко применяются для лечения болезни Паркинсона, герпеса, профилактики гриппа. Синтезированный нами дигидропиримидинон обладает целым рядом функциональных групп, что делает его перспективным биологически активным соединением.

Литература

1. Kappe, C.O. 100 years of the biginelli dihydropyrimidine synthesis // *Tetrahedron*. – 1993. – Vol. 49, № 32. – P. 6937–6963.
2. Rovnyak, G.C. Calcium Entry Blockers and Activators: Conformational and Structural Determinants of Dihydropyrimidine Calcium Channel Modulators /

G.C. Rovnyak, S.D. Kimball, B. Beyer, G. Cucinotta, J.D. DiMarco, J. Gougoutas, A. Hedberg, M. Malley, J.P. McCarthy, R. Zhang, S. Moreland // *J. Med. Chem.* - 1995. - Vol. 38, № 1. - P. 119-129.

3. Atwal, K.S. Dihydropyrimidine calcium channel blockers. 3. 3-Carbamoyl-4-aryll,2,3,4-tetrahydro-6-methyl-5-pyrimidinecarboxylic acid esters as orally effective antihypertensive agents / K.S. Atwal, B.N. Swanson, S.E. Unger, D.M. Floyd, S. 156 Moreland, A. Hedberg, B.C. O'Reilly // *J. Med. Chem.* - 1991. - Vol. 34, № 2. - P. 806-811.

4. Mayer, T.U. Small Molecule Inhibitor of Mitotic Spindle Bipolarity Identified in a Phenotype-Based Screen / T.U. Mayer, T.M. Kapoor, S.J. Haggarty, R.W. King, S.L. Schreiber, T.J. Mitchison // *Science*. - 1999. - Vol. 286, № 5441. - P. 971-974.

5. Haggarty, S.J. Dissecting cellular processes using small molecules: identification of colchicine-like, taxol-like and other small molecules that perturb mitosis / S.J. Haggarty, T.U. Mayer, D.T. Miyamoto, R. Fathi, R.W. King, T.J. Mitchison, S.L. Schreiber // *Chem. Biol.* - 2000. - Vol. 7, № 4. - P. 275-286.



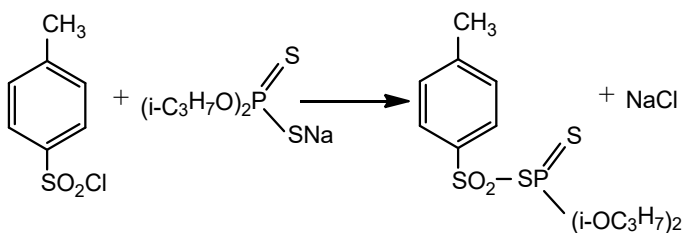
***n*-ТОЛУОЛСУЛЬФОДИИЗОПРОПИЛДИТ ИОФОСФАТ КАК ПРОТИВОИЗНОСНАЯ И ПРОТИВОЗАДИРНАЯ ПРИСАДКА К ТРАНСМИССИОННЫМ МАСЛАМ**

**Новоторжина Н. Н., Суджаев А. Р.,
Кязимзаде Ш. К., Гахраманова Г. А.,
Сафарова М. Р., Мусаева М. Н., Мустафаева Е. С.**

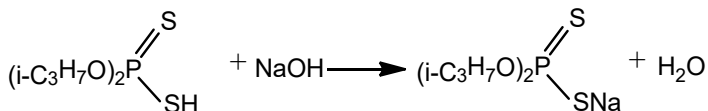
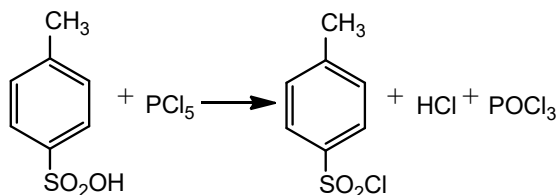
*Институт Химии Присадок им. акад. Али Гулиева
Министерства науки и образования Азербайджана,
г. Баку E-mail: aki05@mail.ru*

Сера- и фосфорсодержащие соединения являются эффективными присадками, работающими в широком интервале температур и давлений. Следует отметить, что ввиду высокой реакционной способности фосфора в соединении при более низких температурах образуется защитная пленка, состоящая из фосфида железа (Fe_3P), а затем, по мере повышения температуры и давления, образуется защитный слой, содержащий сульфиды железа (FeS), причем скорость образования защитных слоев зависит от структуры, концентрации используемой присадки и времени воздействия [1-3].

Основываясь на литературные источники, авторами данной работы был синтезирован *n*-толуолсульфодиизопропилдитиофосфат по схеме:



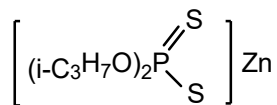
Исходные соединения синтезировались авторами работы по схемам:



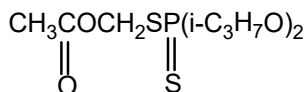
Структура соединения подтверждена методом элементного анализа, а также ИК-спектроскопией.

Соединение представляет собой кристаллическое вещество с $T_{\text{пл}} 70 \div 72$ °С.

Противоизносные и противозадирные свойства *n*-толуолсульфодиизопропилдитиофосфата исследовались на четырехшариковой машине трения (ЧМТ-1) по ГОСТ 9490-75 в авиационном масле МС-20. Параллельно подвергались испытаниям присадка ДФ-11 [4]:



и ацетоксиметилдиизопропилдитиофосфат [5]:



Результаты сравнительных испытаний показали, что синтезированное соединение *n*-толуолсульфодиизопропилдитиофосфат по противозадирным свойствам превосходит оба соединения, взятые для параллельного исследования, а по противоизносным свойствам лишь незначительно уступает присадке ДФ-11 – 0,48 мм и 0,45 мм соответственно. Таким образом, *n*-толуолсульфодиизопропилдитиофосфат может быть использован в качестве противоизносной и противозадирной присадки при создании трансмиссионных масел.

Литература

1. Гильмуллин Т.Р. Исследование механизма трения и изнашивания трибосопряжений в режиме граничной смазки. 3.2.5. Серу, фосфор, хлор-содержащие присадки. Выпускная квалификационная работа. ЮУрГУ–23.04.03.2018.259.00.00ПЗ ВКР, Челябинск, 2018.

2. Мусаева Б.И., Новоторжина Н.Н., Кахраманова Г.А., Сафарова М.Р., Мустафаева Е.С. Производные диизопропилдитиофосфорной кислоты в качестве противозадирных и противоизносных присадок к смазочным маслам / АМЕА akad. Ə.Quliyev adına Aşqarlar Kimyası institutunun yaradılmasının 50 illiyinə həsr olunmuş “Sürtkü materialları, yanacaqlar, xüsusi mayelər, aşqar və reagentlər” mövzusunda respublika elmi konfransı, 2015, səh. 20.

3. Де Руй С., Саутби М.К. Смазывающая композиция / Патент на изобретение RU 2704028 С2, 23.10.2019. Заявка № 2017119335 от 30.10.2015.

4. Источник: <https://tribology.site> > index > tran Трансмиссионные масла – Энциклопедия трибологии.

5. Касимова Г.А. Производные тиоугольных и дитиофосфорных кислот в качестве присадок к смазочным маслам / Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук, 1990, с. 59–60.



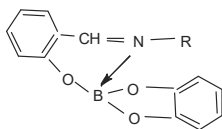
НЕКОТОРЫЕ БОРСОДЕРЖАЩИЕ ПРОИЗВОДНЫЕ АЗОМЕТИНА В КАЧЕСТВЕ АНТИОКСИДАНТОВ К СИНТЕТИЧЕСКИМ МАСЛАМ

**Гадиров А. А., Нагиева Э. А., Фарзалиев В. М.,
Насирова С. И.**

*Институт Химии Присадок
им. акад. Али Гулиева Министерства науки
и образования Азербайджана, г. Баку
E-mail: qadirov.58@mail.ru*

В последние годы все усилия направлены на разработку смазочных материалов с участием новых видов присадок, не оказывающих вредного воздействия на окружающую среду. С этой точки зрения, в соответствии с требованиями охраны окружающей среды предпочтительнее синтезировать присадки (добавки), не содержащие в составе атомы серы и фосфора. Есть сведения, что борорганические соединения, в основном, используются в качестве добавок для улучшения трибологических свойств смазочных масел и стабилизации полимеров, поэтому они считаются подходящими для использования в указанном направлении [1–3].

С целью выявления влияния на антиокислительные и противоизносные свойства синтетических смазочных масел эфиров бора получены некоторые бор- и азотсодержащие эфиры взаимодействием пирокатехинилбората с азометиновыми соединениями по схеме:



где R = $-\text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_5$; $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_5$; $-\text{C}_6\text{H}_4\text{CH}_3$ -p,o,m; $-\text{C}_6\text{H}_4\text{OCH}_3$ -p;
 $\infty-\text{C}_{10}\text{H}_7$; $\text{C}_{18}\text{H}_{37}$ -

Строение синтезированных соединений подтверждено методами элементного анализа и ИК-спектроскопией.

Антиокислительная эффективность синтезированных соединений проверяли по ГОСТ 23797-79. Испытание проводили при 225 °С в течение 20 ч в присутствии стальной, медной и алюминиевой пластинок. Противоизносные свойства определяли на «четырёхшариковой машине трения» ЧМТ по ГОСТ 9490-75.

В качестве синтетического смазочного масла использовали сложный эфир пентаэритрита (ПЭЭ) и синтетических жирных кислот фракции C₅–C₉.

Полученные присадки добавляли в масло в концентрации 0,5 %.

Результаты исследуемых образцов сравнивали с товарной присадкой фенил- α -нафтиламином (ФАН).

В ходе проведенных испытаний выявлено, что новые азотсодержащие соединения бора хелатного типа являются полифункциональными по природе молекул и проявляют высокую эффективность. Улучшают эксплуатационные свойства синтетического масла, такие как антиокислительные, антикоррозионные и противоизносные свойства и по основным показателям превосходят известный ингибитор ФАН.

Литература

1. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам. 2-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1985 – 312 с.
2. Грачек В.И., Мотолько Г.Р., Наумова С.Ф., академик АН БССР Н.С. Козлов. Синтез борорганических соединений и исследование их в качестве свето- и термостабилизаторов поливинилхлорида // ДАН БССР. – 1988. – Т. 32, № 3. – С. 235–238.
3. J.B. Jao, Q.L. Wang, S.Q. Chen, J.Z. Sun and J.X. Dong. Borate esters used as Lubricant // Additives Lubrication Science 14-4, August 2002 (14) 415–423.



ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИЕ СУЛЬФОНАТНЫЕ ПРИСАДКИ К МОТОРНЫМ МАСЛАМ

**Велиева С. М.^{а)}, Кулалиев И. Д.^{а)},
Салманова К. А.^{б)}, Садирзаде И. А.^{а)}**

*а) Институт Химии Присадок им. акад. Али Гулиева
Министерства науки и образования Азербайджана,
г. Баку*

*б) Азербайджанский государственный педагогический
университет*

В современных высококачественных моторных маслах неотъемлемой составной частью являются металлосодержащие моюще-диспергирующие присадки. К одним из наиболее распространенных в мировой практике присадок указанного типа относятся сульфонатные присадки с разной щелочностью, вырабатываемые на основе нефтяных масел и синтетических алкилароматических углеводородов [1]. Одним из перспективных направлений разработки этих присадок является использование в качестве исходного сырья нефтяных масел, облагороженных синтетическими алкил-ароматическими соединениями. При этом упрощается технология производства присадок, повышается содержание в них активного вещества, улучшаются функциональные и эксплуатационные свойства [2].

Для расширения ассортимента сульфонатных присадок нами осуществлен их синтез на основе смеси нефтяного масла М-8 и продукта конденсации алкилфенолов с формальдегидом. Масло М-8 из смеси бакинских нефтей содержит 18 % легких и средних алкилароматических углеводородов. Синтетическим сырьем являлись технические нонил- и додецилфенолы. При сульфировании смешанного сырья триоксидом серы выход сульфокислот составляет 90–95 %, содержание трудно-утилизируемого отхода – кислого гудрона на 35–40 % ниже, чем при сульфировании нефтяного масла. Исследовано влияние соотношения ингредиентов в исходной смеси на показатели нейтраль-

ного сульфоната и найдены условия для получения присадок требуемого качества. Полученные нейтральная и среднещелочная сульфонаты кальция представляют собой вязкие жидкости коричневого цвета. Они обладают высокими физико-химическими и функциональными свойствами. Являясь присадками многофункционального действия, полусинтетические сульфонаты значительно улучшают моющие, диспергирующие, противокоррозионные свойства и стабильность против окисления смазочных масел, а также имеют повышенную термостабильность. По ряду показателей полученные присадки превосходят зарубежных аналогов. Так, при введении в масло М-11 присадок в концентрации 3 % коррозия на свинце составляет 48-25 г/м², в то время как для присадки Хайтек 6060М этот показатель равен 85 г/м².

С использованием разработанной среднещелочной присадки приготовлено моторное масло типа М-10Г₂ для автотракторных дизелей. Результаты испытаний показали, что указанное опытное масло по физико-химическим и функциональным свойствам соответствует предъявляемым требованиям.

Литература

1. Фиалко В.М. Импортзамещение в области присадок к маслам // Мир нефтепродуктов. – 2013. – № 2. – С. 40–43.
2. Агаев А.Н., Велиева С.М., Кулалиев И.Д., Салманова К.А. и др. Многофункциональные полусинтетические присадки сульфонатного типа к смазочным маслам // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2017. – № 3. – С. 38–40.



СИНТЕЗ 1,3-ДИМОРФОЛИНОПРОПАН-2-ОЛА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО В КАЧЕСТВЕ ЗАЩИТНЫХ ПРИСАДОК К СМАЗОЧНЫМ МАСЛАМ

**Фарзалиев В. М., Бабаи Р. М., Мамедова Р. Ф.,
Кулиева Г. М., Ейвазова Г. Ш.**

*Институт Химии Присадок им. акад. Али Гулиева
Министерства науки и образования Азербайджана,
г. Баку E-mail: aki05@mail.ru*

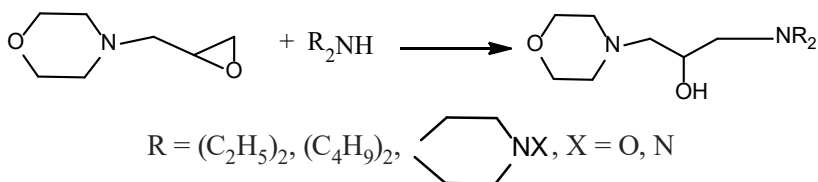
Различные погодно-климатические и атмосферные условия при эксплуатации техники требуют соответствующих мер по защите ее как в период работы, так и при хранении, транспортировке и длительных простоях. Борьба с электрохимической коррозией в двигателях и механизмах – задача большого народнохозяйственного и оборонного значения. Смазочные масла, обычно используемые в технике, не обладают достаточными защитными свойствами и не способны эффективно предохранять ее от коррозии, как в процессе эксплуатации, так и при кратковременном и длительном бездействии. Одним из наиболее простых и рациональных путей решения этой проблемы является использование смазочных материалов, содержащих эффективные защитные (консервационные) присадки, которые, не ухудшая обычные рабочие свойства масел, придают им консервационные свойства.

Согласно литературным данным [1-3], наиболее перспективными защитными присадками к рабоче-консервационным маслам являются производные фенолов, алифатических и гетероциклических аминов и циклических ацеталей, содержащих в молекуле различные функциональные группы, а также гетероатомы (N, S и др.).

С целью разработки новых высокоэффективных защитных присадок, нами взаимодействием 3,2-эпоксипропилморфолина со вторичными аминами и морфолина были синтезированы ряд новых 1-морфолино-3-диалкиламинопропан-2-олы

и 1,3-диморфолинопропан-2-ол. Была изучена зависимость их эффективности от строения. Строение полученных соединений подтверждено данными ИК-спектроскопии. Так, в области 3446 см^{-1} всех полученных производных наблюдается полоса поглощения валентных колебаний связи ОН. Синтезированные соединения хорошо растворяются в маслах и стабильны при хранении.

Синтез осуществлен по нижеследующей схеме:



Полученные соединения были исследованы в качестве защитных присадок в составе смазочного масла М-12 по ГОСТ 9.054-75.

Установлено, что 1-морфолино-3-диалкиламинопропан-2-олы обладают защитными свойствами и при концентрации 1,0 % обеспечивают защиты стали Ст-10 от коррозии во влажной камере, в морской воде и под воздействием 0,1 %-го раствора кислоты НВr, превосходя по своей эффективности промышленную присадку – сукцинимидмочевину (СИМ), при этом соединения, содержащие гетероциклические аминные фрагменты проявляют большее защитное действие по сравнению с соединениями с алифатическими аминными фрагментами.

Синтезированные соединения также были исследованы в качестве антимикробных присадок к смазочному маслу М-12. Установлено, что эти вещества при концентрации 1 % обладают бактерицидными свойствами.

Литература

1. Алиев Ш.Р. // Химия и технология топлив и масел. – 2012. – № 3. – С. 36–39.
2. Аллахвердиев М.А., Бабаи Р.М., Фарзалиев В.М., Алиев Ш.Р., Рзаева И.А., Халилова А.З. // Нефтехимия. – 2001. – Т. 41, № 2. – С. 153–157.
3. Латюк В.И., Келарев В.И., Кошелев В.Н., Корнев К.Д. // Химия и технология топлив и масел. – 2002. – № 5. – С. 23–26.

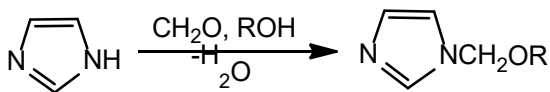


СИНТЕЗ АЛКОКСИМЕТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ИМИДАЗОЛА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ

**Фарзалиев В. М., Аббасова М. Т.,
Сафарова Л. Р., Аббасов М. Г.,
Мирзоева М. А., Кулиева Г. М., Алиева Н. А.**

*Институт Химии Присадок им. акад. Али Гулиева
Министерства науки и образования Азербайджана,
г. Баку E-mail: aki05@mail.ru*

Обширный литературный материал, а также многочисленные исследования, выполненные в институте химии присадок АН Азербайджана, свидетельствуют о том, что большинство из применяемых смазочно-охлаждающих жидкостей поражаются микроорганизмами, в результате чего сокращается срок их эксплуатации. В литературе описан и на практике применяется ряд соединений, обладающих антимикробным действием в отношении этих микроорганизмов. Одними из наиболее эффективных среди них являются соединения, содержащие формальдегид в связанном виде [1–3]. С целью синтеза новых соединений, содержащих формальдегид в связанном виде, нами взаимодействием имидазола с формальдегидом и гидроксилсодержащими соединениями получен ряд алкоксиметильных производных имидазола:



R = CH₃, C₂H₅, C₃H₇, i-C₃H₇, C₄H₉, CH₂CH₂OCH₃, CH₂CH₂OC₆H₅

Реакцию проводили путем предварительного получения полуформала соответствующего гидроксилсодержащего соединения, к которому при комнатной температуре добавляли раствор имидазола в этаноле. Выход продуктов реакции после перегонки под вакуумом составляет 60–75 %, их строение под-

тверждено данными ИК спектроскопии. В ИК-спектрах в области 1220 см^{-1} наблюдается полоса поглощения валентных колебаний связи C-N, а в области 1281 см^{-1} – валентные колебания связи C-O, которые свидетельствуют о наличии группы NCH_2O . Микробиологические испытания полученных соединений, показали, что эти вещества обладают высокой бактерицидной активностью в отношении микроорганизмов, поражающих СОЖ и при конц. 0,5 % длительное время защищают их от поражения бактериями. Эти вещества легко синтезируются из доступных реагентов и могут быть рекомендованы в качестве бактерицидных препаратов для СОЖ.

Литература

1. Paulus W. // Biodet Proc. IV IBS, London, Pitman Pull, Ltd. – 1980. – P. 307–314.
2. Калаганов В.А., Закирова В.З., Картавиева З.М. // Химия и технология топлив и масел. – 1983. – № 3. – С. 40–41.
3. Фарзалиев В.М., Аббасова М.Т., Бабаева Г.Б., Бабаи Р.М., Сафарова Л.Р., Кулиева Г.М., Алиева М.Н. // Kimya problemləri. – 2018. – № 3 (16). – С. 381–389.



КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ЦИКЛОАЛКИЛИРОВАНИЕ ФЕНОЛА ЦИКЛОДИМЕРОМ ДИВИНИЛА НА ЦЕОЛИТАХ

Мамедова Э. И., Багирзаде Р. З., Расулов Ч. К.

*Азербайджанский Государственный Университет
Нефти и Промышленности, г. Баку, Азербайджан
Институт Нефтехимических Процессов
им. Ю. Г. Маммедалиева, г. Баку, Азербайджан
Тел: 0777622662. E-mail: elmirammdova809@gmail.com*

Алкилирование фенола в кислой среде является типичной реакцией электрофильного замещения и практически всегда первоначально алкилирующий агент направляется в пара-положение.

Пара-алкилфенолы широко применяются в качестве промежуточных продуктов для синтеза антиоксидантов, присадок и др. химических добавок к полиолефинам, маслам и топливам [1–3].

Пара-алкилфенолы в основном получают алкилированием фенола с различными алкилирующими агентами в присутствии гомогенных и гетерогенных катализаторов [4, 5].

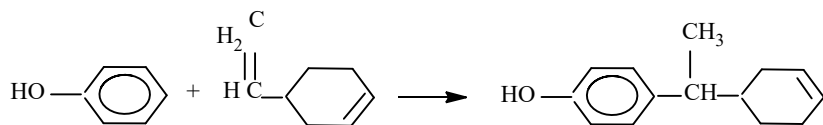
Гетерогенные катализаторы имеют большое преимущество перед гомогенным. Поэтому цеолитсодержащие каталитические системы занимают особое место. Они позволяют вести процесс непрерывно, работают длительное время, экологически безопасны и могут регенерироваться.

В представленной работе приводятся результаты реакции циклоалкилирования фенола с 4-винилциклогексеном (ВЦГ) в присутствии цеолитсодержащего катализатора КН-30 на непрерывно действующей установке.

Исходными продуктами для осуществления реакции циклоалкилирования служат фенол и 4-винилциклогексен. Фенол здесь используют как реактивный препарат, который предварительно перед опытом перегоняют. ВЦГ получают циклодимери-

защией дивинила [6]. ВЦГ используют с чистотой 98,8 %, $T_{\text{кип}}$ 130 °С; n_D^{20} 1.4648; ρ_4^{20} 0.8308, М. м 108. В качестве катализатора используют КН-30 (ТУ 2177-011-07622236-2008). Циклоалкилирование фенола ВЦГ осуществляют в лаборатории на непрерывно действующей установке.

Взаимодействие фенола с ВЦГ протекает с образованием пара-замещенного фенола:



С целью нахождения оптимальных условий, обеспечивающих максимальный выход пара-(циклогексенилэтил) фенола изучают влияние температуры, мольного соотношения фенола к ВЦГ, объемную скорость на выход и селективность процесса. Температуру реакции изменяют в интервале 80÷120 °С, мольное соотношение фенола к ВЦГ берут в отношениях 0.5÷1:3. моль/моль и объемная скорость от 0.2-до 1.0 ч⁻¹.

В результате исследования реакции циклоалкилирования фенола с 4-винил-циклогексеном в присутствии цеолитсодержащего катализатора КН-30 найдены оптимальные условия процесса: температура 120 °С, мольное соотношение фенола и 4-винилциклогексена составляет 1:1, объемная скорость – 0.5 ч⁻¹. При этих условиях выход пара-(циклогексенил-этил) фенола оставляет 67.8 % на взятый фенол, а селективность процесса – 91.3 % по целевому продукту.

Из продуктов реакции алкилирования выделены 2-моно-, 2,4-2,6-ди и 2,4,6-тризамещенные циклогексенилэтилфенолы и подтверждены структуры, физико-химические показатели этих соединений и элементный состав. Физико-химические характеристики пара-(циклогексенилэтил) фенола: $T_{\text{кип}}$ 147÷148 °С / 5 мм рт. ст; n_D^{20} 1.5445; ρ_4^{40} 1.0040, М. м 202. Элементный состав, %: выч.: С-83,2; Н-8,9; найд: С-82,7, Н-8,3.

Пара-(циклогексенилэтил) фенол является полупродуктом для получения огромного количества химических соединений.

Литература

1. Расулов Ч.К., Азизов А.Г., Азимова Р.К. // Нефтехимия. – 2012. – Т. 52, № 1. – С. 1–5.
2. Нагиева М.В. // Химия и химическая технология. – 2020. – Т. 63, № 4. – С. 27–29.
3. Zhan W., Jia D., Duan H.T // Industrial Lubrication and Tribology. – 2020. – Vol. 72. – P. 46–53.
4. Нагиева М.В., Расулов Ч.К. // Химия и хим.технология. – 2023. – Т. 68, № 6. – С. 85–93.
5. Гасимова Ф.И. Нефтепереработка и нефтехимия. – 2021. – № 6. – С. 30–32.
6. Александрова И.В., Тушакова З.Р., Ломакин И.А. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2012. – № 12. – С. 29–33.



ФУНГИЦИДНЫЕ СВОЙСТВА АРОМАТИЧЕСКИХ АЗОМЕТИНОВ НА ПРИМЕРЕ БЕНЗИЛИДЕНДИТИОКАРБАМИДА И БЕНЗИЛИДЕНДИТНОСЕМИКАРБОЗИДА

**Аминова Б., Мамедова П. Ш.,
Ибрагимова Т. М., Кахраманова К. Р.,
Алмамедова А. Э., Мамедова Г. А.**

*Институт Химии Присадок им. акад. Али Гулиева
Министерства науки и образования Азербайджана,
г. Баку E-mail: tarana_m@mail.ru*

После открытия основания Шиффа, азометины стали широко применяться как присадки к топливам и маслам, как ингибиторы коррозии металлов при получении гетероциклических соединений, вторичных аминов. За счет высокой биоактивности их стали применять в производстве различных лекарственных препаратов, относящихся к противомикробным и противопаразитарным группам (фурацилин, салюзид, фтивазид), противотуберкулезных препаратов (тиоацетазон), а также используют в качестве рентгеноконтрастных средств (билимин).

Цель нашей работы – синтез и исследование эффективных комплексов, полученных конденсацией бензальдегида с карбонидом и тиосемикарбозидом, в качестве присадок к смазочным материалам.

В течение 4 ч велась реакция в среде метанола при температуре его кипения. Далее были синтезированы соответствующие комплексные соединения, образовавшиеся при взаимодействии полученных лигандов с уксуснокислыми солями переходных металлов (Cu^{2+} , Ni^{2+}). Структура синтезированных соединений подтверждена методом ИК-спектроскопии. Антимикробные свойства данных образцов, а именно фунгицидные свойства, определяли способом зональной диффузии по ГОСТ 9.052-88 и ГОСТ 9.023-74. В данных исследованиях мы использовали вид плесневых грибов *Cladosporium resinae*, широко распространен-

ные в нефтях и нефтепродуктах и являющиеся их агрессивными разрушителями.

Так, при концентрации $0,125 \div 0,5$ % Шифф основания, которые мы получили на основе тиомочевины, проявляют высокие фунгицидные свойства с зоной ингибирования в $2,8 \div 3,0$ см в бензине А-95 (premium). Само топливо не обладает противогрибковыми свойствами.

Также были изучены смазочные свойства синтезированных соединений. Результаты по противоизносным свойствам говорят о том, что в исследованном режиме трения наши азометины эффективны в 1,5 % концентрации как при нагрузке 137 Н в течение 4 ч ($0,50 - 0,56$), так и при нагрузке 392 Н в течение 1 ч ($0,52 \div 0,60$).

Литература

1. Структура и свойства ароматических и жирноароматических азометинов. Волкова Т. Г., Ключев М.В., 2011.



СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДЛИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ 2-ОКСО-1,2,3,4-ТЕТРАГИДРОПИРИ- МИДИН-5-КАРБОКСИЛАТОВ

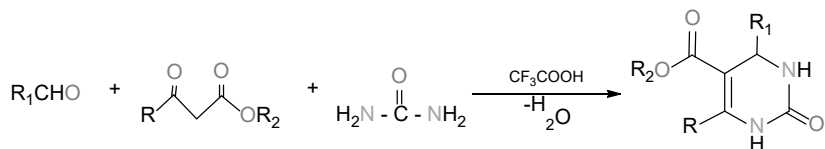
Суджаев А. Р., Назаров Н. Н., Рзаева И. А.,
Григорьева Н. М., Годжаева С. С.

*Институт Химии Присадок им. акад. Али Гулиева
Министерства науки и образования Азербайджана,
г. Баку E-mail: s.afsun@mail.ru*

В связи с развитием машиностроения потребность в антиокислительных присадках к топливам растет из года в год, это связано с тем, что при неполном сгорании топлива в моторах и двигателях в процессе их эксплуатации ухудшается коэффициент полезного действия, что приводит к образованию осадков, забивающих топливные фильтры и форсунки двигателей [1–6].

Наиболее простым и удобным способом синтеза циклических мочевины является одностадийная трехкомпонентная конденсация альдегидов, метиленовых активных соединений и мочевины в кислой среде [7-8]. Так, 1N-алкил(арил)-3,4-пиримидин-2(1H)оны были синтезированы на основе трехкомпонентной конденсации этилового эфира салицилового альдегида и ацетоуксусной кислоты с мочевиной и охарактеризованы методами элементного анализа, ИК- и ЯМР-спектроскопии.

Разработан эффективный метод синтеза 1-N-алкил(арил)-3,4-пиримидин-2(1H)-онов на основе трехкомпонентной конденсации мочевины, салицилового альдегида и этилового эфира ацетоуксусной кислоты.



- (I) – R = CH₃, R₁ = C₆H₄-OH, R₂ = CH₃;
 (II) – R = CH₃, R₁ = C₆H₅, R₂ = CH₃;
 (III) – R = CH₃, R₁ = C₆H₄-OH, R₂ = C₂H₅;
 (IV) – R = C₂H₅, R₁ = CH₃, R₂ = C₂H₅;
 (V) – R = CH₃, R₁ = CH₃, R₂ = C₂H₅;
 (VI) – R = CH₃, R₁ = C₆H₄-OCH₃, R₂ = CH₃;
 (VII) – R = C₂H₅, R₁ = C₆H₅, R₂ = C₂H₅;
 (VIII) – R = C₂H₅, R₁ = C₆H₄-OH, R₂ = C₂H₅;
 (IX) – R = CH₃, R₁ = C₆H₅, R₂ = C₂H₅;
 (X) – R = C₂H₅, R₁ = C₆H₄-OCH₃, R₂ = C₂H₅.

В результате проведенных исследований установлено, что пригодные дигидропиримидиновые карбоксилаты синтезируются с выходом 60-75 % при взаимодействии альдегидов, метиленактивных соединений и мочевины в присутствии трифторуксусной кислоты. Синтезированные соединения представляют собой кристаллические вещества.

Разработанная методология демонстрирует улучшения по сравнению с существующими методами, является высокопродуктивной, надежной и была применена к группе дигидропиримидинов и их производных с различными заместителями.

Антиокислительная активность синтезированных соединений (I–X) в элементарных стадиях ингибирования окисления кумола изучена на реакции этих соединений с кумилпероксидными радикалами. В качестве модельного углеводорода использован кумол, механизм окисления которого исследован достаточно подробно.

Исследование антиокислительных свойств, проводилось в сравнении с известной антиокислительной присадкой ионолом.

Установлено, что полученные соединения проявляют высокую антиокислительную активность при ингибированном окислении кумола.

Результаты исследования показали, что антиокислительные свойства исследуемых соединений значительно превосходят антиокислительные свойства ионола.

В результате исследования антиокислительных свойств синтезированных соединений на модельных реакциях окисления углеводородов было установлено, что все они являются ингибиторами окисления углеводородов.

Литература

1. Суджаев А.Р. Актуальные проблемы современной науки. – 2010. – Т. 51, № 1. – С. 116–120.
2. Суджаев А.Р., Наджафова Р.А., Рзаева И.А., Сафаров Ю.С., Аллахвердиев М.А. // Журнал прикладной химии. – 2011. – Т. 84, № 8. – С. 1329–1332.
3. Veliyeva L., Sadiqova A., Israfilova Z., Rzaeva I., Kurbanova M., Farzaliyev V., Maharramov A., Sujayev A. // Applied Petrochemical Research. – 2021. – Vol. 11, № 3. – P. 317–325.
4. Farzaliyev V., Mustafayev N., Efendiyeva K., et al. // Chemistry Africa. – 2022. – Vol. 5, № 3. – P. 569–574.
5. Nagiyeva E., Farzaliyev V., Kazımzadeh A., Ramazanova Y., Mammedyarova Kh., Mammedova R., Sujayev A. // Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 2022, https://www.ijcce.ac.ir/article_249130.html.
6. Mustafayev N., Novotorzhina N., Ramazanova Y., Musayeva B., Safarova M., Gakhramanova G., Ismayilov I., Sujayev A. // Chemistry Africa. – 2022. – Vol. 5, № 7. – P. 821–826.
7. Farzaliyev V., Shuriberko A., Sujayev A., Osmanova S., Gojayeva S., Gahramanova K. // Journal Molecular Structure. – 2020. – Vol. 1221, № 9. – P. 128844–128853.
8. Javadzade T., Rzayeva I., Demukhamedova S., Akverdieva G., Farzaliyev V., Sujayev A., Chiragov F. // Polyhedron. – 2023. – Vol. 231, № 2. – e116274.



ПОЛУЧЕНИЕ СТАБИЛИЗАТОРА ПОЛИЭТИЛЕНА В. Д. НА ОСНОВЕ ФРАКЦИИ 130–190 °С ЖИДКОГО ПРОДУКТА ПИРОЛИЗА

**Гурбанлы У. Р.^{а)}, Гасанов А. А.^{а)}, Гейдарли Г. З.^{б)},
Расулов Ч. К.^{б)}**

*^{а)} Азербайджанский Государственный Университет
Нефти и Промышленности, г. Баку, Азербайджан.*

*^{б)} Институт Нефтехимических Процессов
им. акад. Ю. Г. Мамедалиева, г. Баку, Азербайджан.
E-mail: gurbanli.ulviyya@mail.ru*

Проблема нахождения квалифицированных путей практического применения побочных продуктов вторичной переработки нефти является весьма актуальной задачей нефтехимии [1–3].

Получаемые на пиролизных установках жидкие продукты пиролиза бензина до сих пор не нашли своего эффективного применения и наносят большой углеродов биосфере.

Использование продуктов вторичной переработки нефти с экологической и экономической точки зрения является актуальной задачей. В их составе содержится до 30 % непредельных углеводородов, которые исследователями используются в качестве алкилирующего агента в реакциях алкилирования фенола.

В настоящей работе приведены результаты арилалкилирования фенола фракцией 130÷190 °С жидкого продукта пиролиза в присутствии цеолитсодержащего катализатора КН–30. Взаимодействием синтезированного *para*–арилалкилфенола с ацетилхлоридом получена *2-гидрокси-5-*(арилалкил)ацетофенол которая была испытана в качестве стабилизатора полиэтилена в.д.

В качестве объекта исследования в работе использована широкая фракция пироконденсата, получаемая на установке ЭП – 300 в г. Сумгаите. Для увеличения концентрации непредельных углеводородов в составе алкилирующего агента нами для реак-

ции арилалкилирования взята фракция 130÷190°C пироконденсата. При этом неопределенность составляет 30 %.

Поскольку в составе фракции 130÷190 °С пироконденсата из неопределенных углеводородов в основном содержится 32,18 % стирол, 5,96 % α -метилстирол, 7,37 % винилтолуол, 4,28 % инден, реакции алкилирования протекают с ними.

Хроматографические исследования фракции 130–190 °С жидкого продукта пиролиза до и после реакции арилалкилирования фенолом показали, что в основном в реакцию вступает стирол. Суммарная конверсия ненасыщенных углеводородов составляет 91,0 %. При этом концентрация стирола в фракции после реакции уменьшается от 32,18 до 3,42 %, т.е. полученный *n*-арилалкилфенол на 95,4 % состоит из *n*- α -метилбензилфенола.

Пара – арилалкилфенол имеет следующие физико-химические показатели: $T_{\text{кип}}$ 160–180 °С / 10 мм рт. ст.; n_D^{20} – 1.5675; ρ_4^{40} 0.9736; м.м.-200.

Взаимодействием *n*-арилалкилфенола с ацетил хлоридом в присутствии катализатора $ZnCl_2$ получено *2-гидрокси-5*-(арилалкил)ацетофенол с выходом 52,5 % испытал в качестве стабилизатора полиэтилена в.д. – марки 15803-020 с положительными результатами.

Литература

1. Мамедова П.Ш., Фарзалиев В.М., Бабаев Е.Р. // Нефтехимия. – 2007 – Т. 47, № 2. – С. 115–119.
2. Ch.Rasulov, Z.Agahamaliyev, I.Alakbarova // Process of petrochemistry and oil-refining. – 2020. – Vol. 21, № 2. – P. 208–215.
3. Нагиева М.В. //Химия и химическая технология. – 2020. – Т. 63, № 4. – С. 22–27.



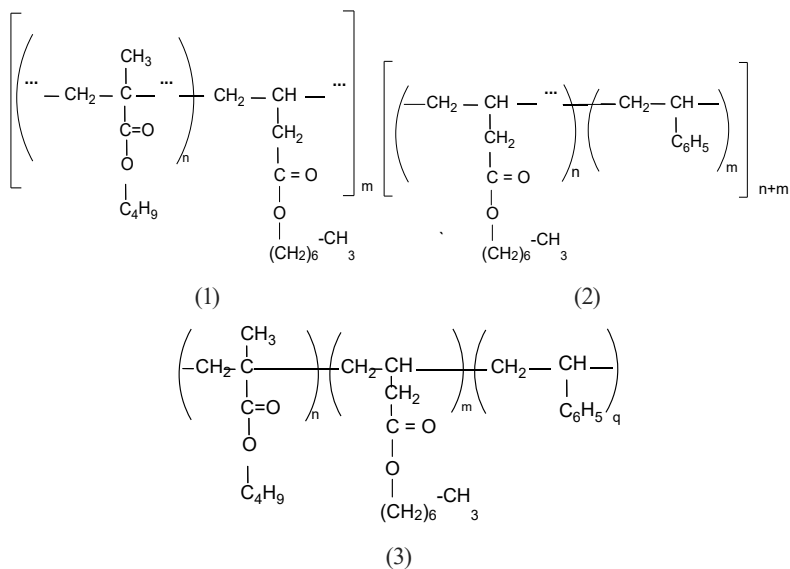
АНТИОКСИДТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ СОПОЛИМЕРОВ СЛОЖНЫХ АЛЛИЛОВЫХ ЭФИРОВ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ

**Кязим-заде Л. К., Гамидова Д. Ш., Гасанова Э. И.,
Исаков Э. У., Рзаева И. А., Гусейнова Н. Д.**

*Министерство Науки и Образования
Республики Азербайджана Институт химии присадок
им. академика А. М. Кулиева, г. Баку*

Ингибиторы окисления широко используются для торможения процессов окисления в полимерных материалах, топливах, смазках, маслах, жирах и т.д. Эффективными антиоксидантами могут быть соединения с двойными связями.

Для изучения ингибирующих свойств сополимеров сложных аллиловых эфиров карбоновых кислот, выбрали синтезированные нами двойные сополимеры аллилового эфира каприловой кислоты с бутилметакрилатом (1) и со стиролом (2), также



тройной сополимер этого же эфира с бутилметакрилатом и стиролом (3).

Ингибирующие свойства синтезированных соединений изучены на основе кинетических исследований реакций последних с кумилпероксидными радикалами. Изучение автоокисления кумола при 110 °С в присутствии исследуемых сополимеров показало, что они ингибируют этот процесс.

Реакция взаимодействия с кумилпероксидными радикалами исследована на примере инициированного азибисизобутилнитрилом (АИБН) окисления кумола в присутствии сополимеров. Исследования показали, что все сополимеры тормозят инициированное окисление кумола. Однако самую высокую ингибирующую активность проявляет тройной сополимер.

Проведенные исследования показали, что все сополимеры эффективно ингибируют процесс окисления углеводородов.



РЕАКЦИЯ АМИДИРОВАНИЯ 1,1-БИС-(КАРБОКСИ-МЕТИЛТИО)-1-П- НИТРОФЕНИЛЭТАНА ПЕРВИЧНЫМИ АМИНАМИ

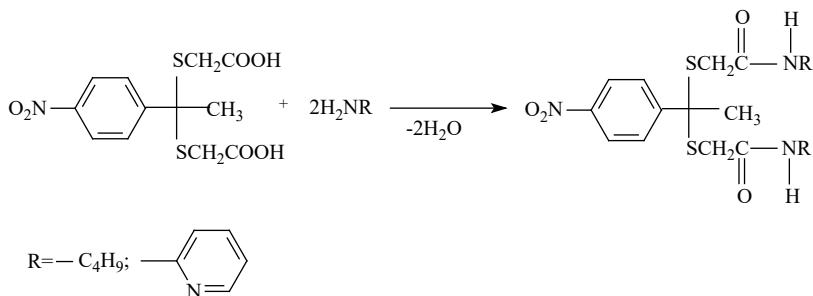
**Османова С. Ф.^{a,b)}, Кахраманова К. Р.^{a)},
Мамедова Н. Р.^{a)}**

*a) Институт химии присадок им. акад. А. М. Кулиева
Министерства науки и образования Республики
Азербайджан, г. Баку*

*b) Западно-Каспийский Университет, г. Баку,
Азербайджан*

Продукты реакции кетонов с меркаптоуксусной кислотой (в частности, соединения, содержащие такие функциональные группы, как карбоксильная и гидроксильная) представляют значительный интерес в качестве синтонов для синтеза различных амидов, гетероциклических соединений и ряда других производных [1]. Особый интерес среди этих производных представляют соединения, содержащие амидные группы и гетероциклические фрагменты.

С учетом вышеизложенного нами проведены реакции амидирования 1,1-бис-(карбоксиметилтио)-1-п-нитрофенилэтана [2] первичными аминами по схеме:



Реакция проводилась в растворе бензола при 80 °С и мольном соотношении бис-кислота : амин равном 1:2 в присутствии

каталитических количеств борной кислоты. Продолжительность реакции варьировалась от 9 до 12 часов. Синтезированные амиды представляли собой кристаллические вещества, хорошо растворимые в полярных растворителях и нерастворимые в неполярных растворителях.

Состав и структура синтезированных соединений установлены на основе данных ИК- и ПМР-спектров и элементного анализа.

Литература

1. Yadav L., Yadav S., Rai V. // *Tetrahedron*. – 2005. – Vol. 61, № 42. – P. 10013–10017.
2. Сардарова С.А., Османова С.Ф., Мамедов Ф.А., Гамидова Ш.Я. // *Химические проблемы*. – 2015. – № 3. – С. 319–322.



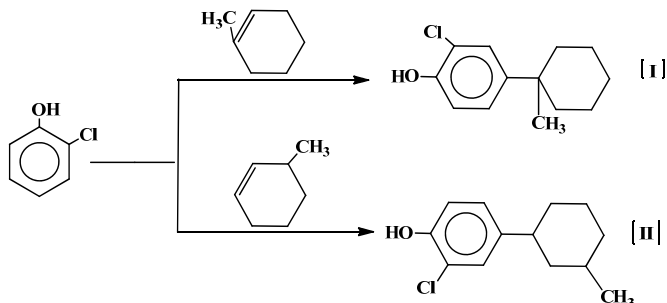
КАТАЛИТИЧЕСКОЕ АЛКИЛИРОВАНИЕ *О*-ХЛОРФЕНОЛА МЕТИЛЦИКЛОГЕКСЕНАМИ

Мовсумова А. Х., Шахмурадов С. Т.

*Институт нефтехимических процессов
им. акад. Ю. Г. Мамедалиева, г. Баку, Азербайджан*

В литературе имеется достаточное количество сообщений о реакциях фенолов с алкилирующими агентами в присутствии кислотных катализаторов [1–3]. Их применение сопряжено с различными техническими трудностями, загрязнением сточных вод, образованием побочных продуктов и отходов, а также большим расходом катализатора.

В представленной работе приведены результаты исследования реакции циклоалкилирования *орто*-хлорфенола (ОХФ) с 1-и 3-метилциклогексенами в присутствии катионита КУ-23.



Для нахождения оптимальных условий реакции циклоалкилирования, обеспечивающих максимальный выход 4-метилциклогексил-2-хлорфенолов, исследовали влияние температуры, времени реакции, мольного соотношения ОХФ к метилциклогексену и количеству катализатора на выход и селективность процесса.

Температура в интервале 100÷140°C, продолжительность реакции: 3÷7 ч, мольное соотношение ОХФ к метилциклогексену: 2:1÷1:2, количество катализатора 5÷15 % масс.

Варьированием условий реакции циклоалкилирования ОХФ с 1(3)-метилциклогексенами в присутствии КУ-23 найдены оптимальные условия реакции: температура: 115÷120 °С, продолжительность 5,0÷5,5 ч, мольное соотношение ОХФ: МЦГ = 1:1, количество катализатора: 7÷10 % в расчете на взятый ОХФ. В этих условиях выход 2-хлор-4[1(3)-метилциклогексил] фенолов составляет 74,3÷76,2 % на взятый ОХФ, а селективность 92,7÷93,4 % по целевому продукту.

Химические структуры синтезированных метилциклогексил-*орто*-хлорфенолов подтверждены ИК- и ¹Н- ЯМР-спектроскопией; определены физико-химические характеристики и элементный состав [I]: $T_{\text{кип}}$ 163÷165°C/10 мм.рт.ст.; $T_{\text{пл}}$ 104,5°C; М.м-224; элементный состав: С выч.: 69,6 %, найд.: 68,7 %; Н выч.: 7,6 %; найд.: 6,8 %; [II]: $T_{\text{кип}}$ 158÷161°C/10 мм. рт. ст., $T_{\text{пл}}$ 98 °С; М.м-224; элементный состав: С выч.: 69,6 %, найд.: 68,4 %; Н выч. 7,6 %; найд.: 6,3 %.

Синтезированные 2-хлор-4[1(3)-метилциклогексил]фенолы испытаны на стабилизирующую и биологическую активность.

Литература

1. Мамедова А.М. Мирзоев В.Х. Расулов Ч.К. // Нефтепереработка и нефтехимия, г. Москва. 2019, № 5. – С. 22–24.
2. Нагиева М.В. Расулов Ч.К. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2023. – Т. 66, № 6. – С. 85–93.
3. Shaofeng Wu, Jianyu Dong, Dan Zhou, Wan Wang, Long Liu and Yongbo Zhou // The Journal of Organic Chemistry. – 2020. – Vol. 85. – № 22. – P. 14307–14314.



REACTIONS OF ETHERIFICATION DIVINYLATED C₄-FRACTION OF PYROLYSIS WITH ETHANOL

Hajiyeva G. F.^{a,b)}, **Rasulov Ch. K.**^{a)}

a) Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku.

b) Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education, Baku, Republic of Azerbaijan

Car gasoline is considered the most widespread and at the same time expensive energy carriers. For their purchase, complex technological processes such as primary and secondary processing of oil are carried out. In addition, in developed countries, car gasoline is not used without the addition of various chemical additives – additives, antioxidants, oxygenates. Among the oxygenates added to gasoline, methyl and ethyl tert-butyl ethers are the most widely used [1–3].

The presented work is devoted to the production of ethyl tert-butyl ether from the etherification reaction with ethanol in the presence of KY-2 catalyst with the C₄-fraction (butane – isobutylene fraction – BIF) obtained in the pyrolysis process.

Divinylized C₄-fraction (containing 42÷43 % isobutylene) and 98.6 % pure ethanol were used as primary raw materials for the etherification process. KY-2 catalyst is heated up to 110°C to get rid of water before use. After the catalyst is dried, it is filled into a bag made of asbestos fabric corresponding to the diameter of the reactor and placed in the reactor. Ethanol and BIF are mixed under pressure and fed to the lower part of the reactor, and the mixture is sent to rectification after passing over the catalyst and cooling at the outlet of the reactor.

In order to obtain an efficient yield of ethyl tert-butyl ether, the effects of temperature, mole ratios of primary components, volume speed and pressure on the progress and direction of the etherification process were investigated. The temperature of the reaction is 50÷100°C, the molar ratio of ethanol to BIF is 1:1:5, the volume rate is 0.2-1.0 h⁻¹, and the pressure is 0.6÷1.0 MPa. As a result of the con-

ducted studies, it was determined that the yield of ethyl tert-butyl ether is 72.7÷73.2 % based on the ethanol taken at the reaction temperature of 70°C, the molar ratio of ethanol to BIF 1:3, the volume speed of 0.5 h⁻¹, and the pressure of 0.7÷0.8 MPa.

The results of the chromatographic analysis of the hydrocarbon content of the BIF taken for the etherification reaction before and after the reaction show that the amount of isobutylene before the etherification reaction was 42.29 %, while the amount of isobutylene after the reaction was 7.18 %. As a result, the amount of unsaturated hydrocarbons in the post-reaction hydrocarbon content of BIF is significantly reduced, and this reaction can be proposed for use as household fuel.

References

1. Мирзоев В.Г., Пущик Е.В. // Аналитический журнал о нефти и газе. – 2016. – № 6. – С. 44–49.
2. Шириязданов Р.Р., Давлетшин А.Р., Рахимов М.Н. и др. // Башкирский химический журнал. – 2011. – Т. 18, № 2. – С. 48–51.
3. Нагиева М.В., Расулов Ч.К. // Химия и химическая технология. – 2023. – Т. 66, № 6. – С. 85–93.



ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВОСТРЕБОВАННЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ, ОСНОВАННЫЕ НА ЭКСТРАКЦИОННО- КАТАЛИТИЧЕСКОМ ФРАКЦИОНИРОВАНИИ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ

Кузнецов Б. Н.

*Институт химии и химической технологии СО
РАН, ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН»,
г. Красноярск, Россия*

Ежегодный прирост растительной биомассы намного перекрывает годовую потребность человечества в топливе и химических продуктах. В России сосредоточено около четверти мировых запасов древесины, что создает альтернативную нефти сырьевую базу для широкомасштабного производства биотоплив, востребованных химических веществ и функциональных материалов.

В традиционных процессах получения целлюлозы и био-спиртов из древесины применяются химически агрессивные и экологически опасные реагенты, повышенные температуры и давления, что снижает их экономическую эффективность.

Новые подходы в разработке высокотехнологичных процессов конверсии возобновляемой лигноцеллюлозной биомассы в востребованные химические продукты и биотоплива (биоре-файнери) основаны на фракционировании ее основных компонентов – полисахаридов и лигнина.

В данной работе рассмотрены новые процессы экстракцион-но-каталитического фракционирования лиственной и хвойной древесины, использующие «зеленые» реагенты и твердые катализаторы. Для этих процессов был осуществлен подбор твердых катализаторов и оптимальных условий их проведения, позволяющих фракционировать основные компоненты древесной био-

массы на микрокристаллическую и микрофибриллированную целлюлозы, ценные химикаты и жидкие биотоплива [1–4].

Экспериментальными и расчетными методами была проведена оптимизация экстракционных и каталитических процессов, обеспечивающих интегрированную переработку основных компонентов древесной биомассы, а именно, гидролиза гемицеллюлоз до моносахаров, окислительного и восстановительного фракционирования предгидролизованной древесины на микрокристаллическую целлюлозу (МКЦ) и растворимый лигнин, гидролиза МКЦ до глюкозы и 5-гидроксиметилфурфурола, термоконверсии растворимого лигнина в среде сверхкритического этанола в жидкие углеводороды, обогащенные метоксифенолами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 21-13-00250.

Литература

1. Kuznetsov B.N., Sudakova I.G., Garyntseva N.V., et.al. // Catalysis Today. – 2021. – Vol. 375. – P. 132–144.
2. Kuznetsov B.N., Sharyпов V.I., Baryshnikov S.V., et.al. // Catalysis Today. – 2021. – Vol. 379. – P. 114–123.
3. Kuznetsov B.N., Chudina A.I., Kazachenko A.S., et.al. // Polymers. – 2023. – Vol. 15. Is. 12. – P. 2671.
4. Kuznetsov B.N., Miroshnikova A.V., Kazachenko A.S., et.al. // Catalysts. – 2023. – Vol. 13. – P. 413.



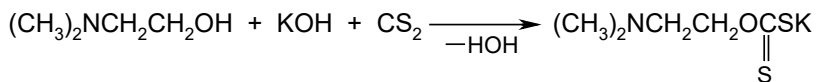
СИНТЕЗ О-ДИМЕТИЛАМИНОЭТИЛ-S-АЛЛИЛКСАН-ТОГЕНАТА

**Эфендиева Х. К., Мамедова Р. Ш.,
Алмамедова А. Э., Гамидова Ш. Я., Мамедова Г. А.**

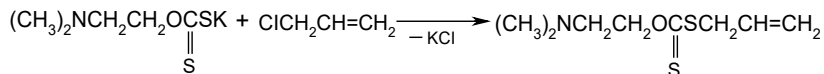
*Институт Химии Присадок им. акад. Али Гулиева
Министерства науки и образования Азербайджана,
г. Баку E-mail: aki05@mail.ru, xuraman.efendiyeva@
mail.ru*

Одним из важных направлений в области нефтехимических исследований является синтеза новых серу-, азот-, фосфорсодержащих соединений и изучение их в качестве присадок к смазочным маслам. В продолжение ранее проведенных нами работ в области синтеза и исследования производных тиоугольных кислот [1] синтезирован аллил диметиламиноэтилксантогенат.

Вначале по известному методу [2] реакцией диалкиламиноэтилового спирта, гидроокиси калия с сероуглеродом синтезировано диалкиламиноэтилксантогенат калия по схеме:



Затем взаимодействием диметиламиноэтилксантогената калия с аллилхлоридом при мольном соотношении 1:1 синтезировали аллил диметиламиноэтилксантогенат:



$$n_D^{20} = 1,5340, d_4^{20} = 1,0537; \text{MR}_D \text{ tap.} = 60,76, \text{MR}_D \text{ hes.} = 60,50$$

Реакция проводили при 40÷45 °С в присутствии этилового спирта в течение 4 часов. О-Диметиламиноэтил-S-аллилксантогенат представляет собой жидкость желтого цвета, растворимую в бензоле, ацетоне, хлороформе.

Состав и строение полученных соединений подтверждены определением их физико-химических характеристик, элементным анализом и ИК-спектроскопией. В спектре интенсивная полоса поглощения двойной связи $C = C$ определяется в области 1634 см^{-1} . Слабая полоса поглощения при $754,79\text{ см}^{-1}$ характеризует сульфидную связь $C-S$. Полоса поглощения при 1097 см^{-1} соответствует валентному колебанию $C-N$ углерод-азот связей. Полоса поглощения при 3080 см^{-1} , присоединенных к двойной связи в угловом положении двойной связи объясняет валентные колебания $C-H$ связей.

Литература

1. Н.П. Мустафаев, Х.К. Эфендиева и др. Синтез и исследование новых производных алкилксантогеновых кислот в качестве присадок к смазочным маслам // Сборник научных трудов, выпуск 4, 2020, с. 19–25.
2. Ю.В. Попов, А.С. Долгачев, Е.В. Шишкин. Синтез диэтиламиноэтилового ксантогената калия // Известия Вол. ГТУ, с. 35–37.



ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Гасан-заде Э. И., Михайлова Н. Н.,
Шавшукова С. Ю.**

*Уфимский государственный нефтяной технический
университет, г. Уфа, Россия*

К 75-летию Уфимского государственного нефтяного технического университета выделены наиболее важные и актуальные результаты научных и прикладных исследований сотрудников вуза. Одним из значительных достижений кафедры «Технология нефти и газа» (ТНГ) является разработка специальных нефтепродуктов, предназначенных для решения ряда технических проблем. Новые продукты на основе полученных на уфимских НПЗ углеводородных фракций были созданы в 1970 – 2020-х гг. и являются востребованными в настоящее время в различных отраслях промышленности. Исследования по разработке нефтепродуктов специального назначения на кафедре ТНГ проводили профессора З.И. Сюняев, П.Л. Ольков, А.Ф. Ахметов, Л.В. Долматов с сотрудниками [1].

Необходимость получения таких продуктов была обусловлена запросом промышленных предприятий, осуществляющих разработку месторождений полезных ископаемых открытым способом. В природно-климатических условиях северных и восточных районов страны около 50 % добытых горных пород примерзало к поверхности транспортного оборудования, что увеличивало стоимость транспортных и погрузочно-разгрузочных работ.

Повышенное пылеобразование при транспортировке сыпучих материалов приводило к износу двигателей и создавало неблагоприятную экологическую обстановку на предприятиях.

Снизить влияние указанных неблагоприятных факторов в значительной степени помогла обработка поверхностей и насыпных материалов профилактическими средствами.

Созданию новых нефтепродуктов предшествовало масштабное исследование физико-химических, объемных и поверхностных свойств нефтяных дисперсных систем, процессов их взаимодействия с металлическими поверхностями и различными дисперсными материалами. Установлено, что смолисто-асфальтеновые вещества, содержащиеся во вторичных нефтепродуктах, образуют на поверхности адсорбционные слои, которые обладают защитными, смазывающими и структурообразующими свойствами [2].

В качестве сырья для производства профилактических средств были использованы высокоароматизированные дистилляты процессов каталитического крекинга и замедленного коксования, а также остатки нефтепереработки с установок вакуумной перегонки нефти и термического крекинга, содержащие большое количество смолисто-асфальтеновых веществ, экстракты селективной очистки масляных фракций. Рациональное использование нефтяных остатков также является важной и актуальной задачей нефтепереработки. На основе изучения объемных и поверхностных свойств нефтяных дисперсных систем были определены оптимальные составы новых нефтепродуктов, отвечающие всем эксплуатационным требованиям. Профилактические средства в целом представляют собой смесь растворителя и загущающей нефтяной добавки.

Профилактические средства «Ниогрин» и «Северин» предназначены для предотвращения смерзания и примерзания к металлическим поверхностям влажных горных пород при их добыче и транспортировке. На внутренней поверхности обработанных «Ниогрином» железнодорожных вагонов и самосвалах после их разгрузки оставалось в 15÷20 раз меньше насыпного материала, чем в необработанных. Средства серии «Северин» имеют температуру застывания минус 50 и 55 °С, поэтому могут применяться в условиях низких температур [3, 4].

Профилактические средства серии «Универсин» предназначены для пылеподавления при добыче руды и угля на карьерах добывающих предприятий. Один из продуктов данной серии имеет температуру застывания минус 60 °С, что дает возмож-

ность его применения в суровых климатических условиях северных районов. Применение средств «Универсин» на дорогах и карьерах отечественных угольных предприятий значительно уменьшало запыленность воздуха, что оказало положительное влияние на экологическую обстановку и самочувствие работников; при этом было уменьшено в 10 раз количество поливочных машин [5].

Вспучивающие агенты «Керамзин» предназначены для улучшения качества керамзита – искусственного гравия. Было установлено, что внесенные в глинистую массу углеводородные смеси способствуют формированию пористой структуры гранул, способствуют снижению объемной массы глинистого сырья [6].

С целью предотвращения биоразрушения древесных материалов (железнодорожных шпал и др.) созданы антисептики, отличающиеся улучшенными санитарно-гигиеническими, экологическими и эксплуатационными характеристиками [7].

Полученные профилактические средства были внедрены на 120 предприятиях страны. Их применение позволило улучшить условия и производительность добычи, транспортировки и хранения сыпучих материалов в природно-климатических условиях северных и восточных регионов РФ, что в результате привело к получению ощутимого экономического эффекта.

Литература

1. Михайлова, Н.Н. Нефтяные составы и композиции, повышающие эффективность транспортировки горных пород / Н.Н. Михайлова, Э.И. Гасанзаде, С.Ю. Шавшукова, А.Ф. Ахметов // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2022. – № 7. – С. 26–28.

2. Ольков П.Л. Исследование процессов контактного взаимодействия углеводородных смесей с металлической поверхностью // Известия вузов. Сер. Нефть и газ. – 1982. – № 1. – С. 42–45.

3. Сюняев З.И., Ольков П.Л., Рогачева О.И., Хурамшин Т.З., Медведева Т.Я. Ниогрин – но-вый нефтепродукт против примерзания и смерзания. – Уфа: Башк. кн. изд-во, 1977. – 86 с.

4. Медведева Т.Я., Субботина Г.А., Шальнова Н.И., Ткачева Л.Н., Загидуллин Р.М., Тынтерев И.А., Ольков П.Л. Северин – новое профилактическое средство // Промышленный транспорт. – 1979. – № 2. – С. 12–13.

5. Ольков П.Л., Зиновьев А.П., Рогачева О.И., Сюняев З.И., Жантемиров С.Д., Городецкий М.И. Что такое универсин // Промышленный транспорт. – 1977. – № 2. – С. 11.

6. Ольков П.Л., Гильманов Х.Г., Галямов Г.К., Садреев А.И., Абызгильдин Ф.Ю. Улучшение качества керамзита путем устранения слипания сырцовых гранул в процессе сушки // Строительные материалы. – 1980. – № 5. – С. 16–17.

7. Долматов Л.В., Ахметов А.Ф., Долматов А.В., Фазылова А.В. Нефтяной антисептик ЖТК для пропитки железнодорожных шпал – полноценный заменитель каменноугольного и сланцевого пропиточных масел // Мир нефтепродуктов. – 2017. – № 3. – С. 12–19.



ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ СИНТЕТИЧЕСКИХ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ

**Грачев С. Д., Михайлова Н. Н.,
Шавшукова С. Ю.**

*Уфимский государственный нефтяной технический
университет, г. Уфа, Россия*

К 75-летию Уфимского государственного нефтяного технического университета (УГНТУ) представлены нефтехимические научные школы вуза, внесшие существенный вклад в развитие теоретических положений и разработку новых продуктов для различных отраслей науки и техники. Широко известной в среде научной общественности является школа академика Академии наук Республики Башкортостан Д.Л. Рахманкулова по химии и технологии линейных и циклических ацеталей и гетероатомных аналогов [1].

Активное взаимодействие со школой Д.Л. Рахманкулова осуществляла школа профессора В.Х. Хамаева, который организовал в УГНТУ исследования по синтезу и изучению свойств неописанных в литературе эфиров многоатомных спиртов и созданию на их основе компонентов смазочных масел и пластификаторов. Учениками школы В.Х. Хамаева стали А.К. Мазитова, Н.Н. Пустовит, М.М. Куковицкий, Л.Б. Куковицкая, В.А. Касьянов и другие. Их работы легли в основу получения новых синтетических масел и пластификаторов сложноэфирного типа [2].

Для синтеза сложных эфиров были использованы монокарбоновые кислоты от C_4H_7COOH до $C_9H_{19}COOH$, промышленные фракции синтетических жирных кислот (СЖК) C_5-C_9 , $C_{10}-C_{16}$, $C_{17}-C_{21}$, фракции α -разветвленных жирных кислот C_5-C_9 , $C_{11}-C_{17}$, $C_{19}-C_{23}$, индивидуальные соединения: фталевый ангидрид, адипиновая кислота и др., а также нафтеновые кислоты, выделенные из керосино-газойлевых нефтяных фракций.

В качестве спиртового компонента использовались индивидуальные алканолаы, фракции синтетических жирных спиртов (СЖС) C_5-C_6 , полиолы, этаноламины, ксилитан и др.

Были синтезированы низкомолекулярные нафтеновые кислоты взаимодействием олефинов или циклоолефинов с муравьиной кислотой и другие индивидуальные спирты и кислоты.

Установлены закономерности изменения физико-химических и вязкостно-температурных свойств эфиров многоатомных спиртов в зависимости от молекулярной массы спиртового и кислотного компонентов и строения кислотного радикала. На основе указанных исходных соединений были синтезированы сотни новых сложных эфиров, исследованы их физико-химические свойства, что расширило сырьевую базу для получения основы синтетических смазочных масел. В частности, пентаэритритовые эфиры СЖК C_5-C_9 указанных жирных кислот, диэтиленгликолевые эфиры низкомолекулярных нафтенowych и α -разветвленных кислот C_5-C_9 были использованы в качестве основы термостабильных синтетических масел.

Литература

1. Михайлова Н.Н., Шавшукова С.Ю., Удалова Е.А., Шавшуков П.Е. Достижения научной школы профессора Д.Л. Рахманкулова в области химии циклических ацеталей // История науки и техники. – 2021. – № 7. – С. 24–27.
2. Михайлова Н.Н., Гасан-заде Э.И., Чанышев Р.Р., Шавшукова С.Ю., Злотский С.С. История развития научных работ в области получения и применения сложноэфирных масел и пластификаторов // История науки и техники. – 2022. – № 5. – С. 12–19.



ЭФИРЫ ТИОГЛИКОЛЕВОЙ КИСЛОТЫ КАК АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕАГЕНТЫ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Гусейнов К. З.^{а)}, Гамбаров Д. Г.^{б)}

*а) Институт химии присадок им. академика А. Кулиева
Министерства науки и образования Азербайджана,
г. Баку*

*б) Бакинский государственный университет
Министерства науки и образования Азербайджана,
г. Баку*

В настоящее время вследствие интенсивной техногенной деятельности человека наблюдается глобальное загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами. Загрязнение природных вод тяжелыми металлами представляет серьезную экологическую проблему. Особенностью этих загрязнителей является неспособность их к биодegradации.

Кроме того, накопившиеся в почве металлы являются источником вторичного загрязнения воздуха, поверхностных и подземных вод, аккумулируются в сельскохозяйственной продукции. Исходя из этого, разработка методов быстрого и надежного получения информации об уровнях загрязненности природных сред и сточных вод тяжелыми металлами продолжает оставаться актуальной задачей.

Известны способы фотометрического определения кобальта и никеля с использованием органических реагентов. Тиогликолевая кислота и ее некоторые производные применяются для определения ряда металлов. Нами показано, что эфиры тиогликолевой кислоты (ЭТГК) превосходят тиогликолевую кислоту и ее анирид по всем аналитическим показателям.

Аналитические возможности ЭТГК изучены на примере реакции комплексообразования кобальта (II) и никеля (II).

С целью повышения избирательности и экспрессности при фотометрическом определении кобальта в качестве органиче-

ского реагента нами предложен 2-этилгексиловый эфир тиогликолевой кислоты.

Изучена реакция комплексообразования никеля с 2-хлорэтиловым эфиром тиогликолевой кислоты и предложен способ концентрирования никеля, включающий экстракцию и концентрирование его из водных растворов в присутствии 2-хлорэтилового эфира тиогликолевой кислоты.



УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕФТЯНЫХ ТОПЛИВ ПРИСАДКАМИ

Гусейнов К. З., Алиев Н. А., Эйвазова И. М.

*Институт химии присадок им. академика А. Кулиева
Министерства науки и образования Азербайджана,
г. Баку*

В настоящее время повышение содержания токсичных веществ в окружающей среде представляет большую опасность для здоровья человека и состояния биосферы.

Автотранспорт является одним из основных источников загрязнения окружающей среды. В наибольшей степени это проявляется в крупных промышленных районах. В отдельных городах на долю автотранспорта приходится 60÷80 % общего выброса загрязняющих веществ в атмосферу.

Токсичные выбросы можно снизить, добавляя в топливо присадки, прямо или косвенно влияющие на процесс горения.

Нами синтезирован ряд азот- и серосодержащих органических соединений и исследован в качестве присадок к дизельным топливам: изучены их моющее – диспергирующие, антинагарные, антикоррозионные и антимикробные свойства.

Установлено, что при добавлении в дизельное топливо в концентрации 0,01 % N-оксиэтилиimid тетрапропенилянтарной кислоты увеличивается срок службы форсунки двигателя более чем в 10 раз.

Найдено, что полиамиды тетрапропенилянтарной кислоты на основе диэтанолamina и морфолина при концентрации 0,01÷0,05 % снижают коррозию стальных пластин, погруженных в дизельное топливо на 96÷100 %, а бронзовых на 60÷65 %.

Показано, что диэтоксидэтиловые эфиры амил-, фенил- и этоксикарбонилметилтиоантарной кислоты проявляют высокую антимикробную активность. При добавлении 0,1–0,3 % указанных соединений в дизельное и реактивное топливо Т-1 рост микроорганизмов в них полностью подавляется.

Улучшение экологических свойств топлив достигается также присадками, повышающими их химическую и термическую стабильность. Эти присадки замедляют реакции уплотнения продуктов неполного сгорания топлив в смолистые соединения. Установлено, что при добавлении N-этилциклогексил-аминометил-2-этилгексилкарбонилметилсульфида в количестве 0,0125 % в топливо Т-1 снижение осадкообразования составляет 84,6 %.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ДОКЛАДЧИКОВ

- Наййева G. F. 202
Mindubaev A. Z. 163
Аббасова М. Т. 184
Авдеева Е. В. 77, 142, 144, 146
Акишина Е. А. 105
Алиев Н. А. 216
Аскерова К. Т. 170
Бабаев Н. Р. 116
Бабаи Р. М. 182
Баташев С. А. 93
Бей М. П. 33
Бессарабов А. М. 127, 129, 131, 135
Бичева Е. С. 47
Васильев Л. Л. 29
Велиева С. М. 180
Войтов И. В. 25
Воробьева Е. В. 71
Гадиров А. А. 178
Гамидова Д. Ш. 161
Гасан-заде Э. И. 208
Годжаева С. С. 191
Грачев С. Д. 212
Гурбанлы У. Р. 194
Гусейнов К. З. 214
Гусиев Н. Х. 157
Дикая А. С. 65
Здрецов И. М. 51
Злотский С. С. 14
Ибрагимова Т. М. 189
Игнатович Я. С. 83
Караева А. Р. 159
Каримов О. Х. 120
Касаткин Н. П. 36
Коновалов Д. С. 152
Крестьянинова В. С. 43
Кузнецова Т. Ф. 112
Кузнецов Б. Н. 204
Кязим-заде Л. К. 196
Ладохина Н. П. 172
Малыгин А. А. 20
Мамедова Э. И. 186
Матвеев Ю. В. 74, 80
Матусевич В. В. 68
Максимук Ю. В. 101
Машкин М. Е. 62
Михалевич А. А. 7
Мовсумова А. Х. 200
Мукушева Г. К. 124
Нагиева М. В. 165
Никитина Е. В. 87
Николайчук В. В. 109
Новик Х. А. 137
Новоторжина Н. Н. 175
Османова С. Ф. 198
Парфенова Л. В. 37
Потапов В. А. 58
Поткин В. И. 8
Пузин Ю. И. 90
Рамазанова Ю. Б. 118
Раскильдина Г. З. 103
Рогачев А. В. 16
Севостьянова Н. Т. 39
Сидоренко А. Ю. 11, 60
Трохин В. Е. 133
Шатинова М. И. 155
Шутова Т. Г. 97
Эфендиева Х. К. 206
Якубов Й. Ю. 149

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕЗИСЫ ПЛЕНАРНЫХ ДОКЛАДОВ

<i>А. А. Михалевич</i> АЭС В БЕЛАРУСИ: ПЕРВЫЕ ИТОГИ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	7
<i>В. И. Поткин, Ф. И. Зубков, Е. В. Никитина, К. А. Алексеева, И. А. Колесник</i> СИНТЕЗ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ АЗАГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ АНСАМБЛЕЙ С ВЫСОКИМ ПОТЕНЦИАЛОМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ.....	8
<i>А. Ю. Сидоренко</i> НОВЫЕ КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ КАСКАДНЫХ РЕАКЦИЙ ТЕРПЕНОИДОВ	11
<i>С. С. Злотский, Р. М. Султанова, Ю. Г. Борисова, Г. З. Раскильдина</i> СОЕДИНЕНИЯ-ПЛАТФОРМЫ В ОРГАНИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ И НЕФТЕХИМИИ	14
<i>А. В. Рогачев, М. А. Ярмоленко, А. А. Рогачев, Сяо Хун Цзян</i> СВОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БИОМАТЕРИАЛОВ, ОСАЖДЕННЫХ ИЗ АКТИВНОЙ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ	16
<i>А. А. Малыгин</i> НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОСНОВЫ РЕАЛИЗАЦИИ В РОССИИ МАЛОТОННАЖНОЙ НАНОТЕХНОЛОГИИ МОЛЕКУЛЯРНОГО НАСЛАИВАНИЯ.....	20

ТЕЗИСЫ УСТНЫХ ДОКЛАДОВ

<i>И. В. Войтов, А. И. Юсевич, А. В. Дернович, В. Н. Марцұл</i> ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫЗОВОВ СОВРЕМЕННОСТИ	25
<i>Л. Л. Васильев, А. С. Журавлев, М. А. Кузьмич, А. А. Артюх, Д. И. Садченко</i> ТЕПЛОВЫЕ ТРУБЫ ДЛЯ СИСТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ.....	29
<i>М. П. Бей, А. П. Ювченко</i> ЦИТРАКОНОПИМАРОВАЯ КИСЛОТА: ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА	33
<i>Н. П. Касаткин</i> НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ЦИКЛ – АЛЬТЕРНАТИВА ТОПЛИВУ ПРИ ВЫРАБОТКЕ ЭНЕРГИИ	36

<i>Л. В. Парфенова</i> ГОМОГЕННЫЕ КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ЦИР- КОНОЦЕНОВ В СИНТЕЗЕ ДИМЕРОВ И ОЛИГОМЕРОВ АЛКЕНОВ	37
<i>Н. Т. Севостьянова</i> АЛКОКСИКАРБОНИЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СО И НЕНАСЫЩЕННЫХ СУБСТРАТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИС- ХОЖДЕНИЯ	39
<i>В. С. Крестьянинова, А. В. Сайко, Т. Г. Пчельникова, П. А. Долгушев, О. В. Климов</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМО- ЛИЗНЫХ МАСЕЛ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА И ПОЛИ- ПРОПИЛЕНА	43
<i>А. И. Иванец, Е. С. Бичева, В. Г. Прозорович, Т. Ф. Кузнецова</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДОПИРОВАНИЯ ИОНАМИ Fe^{3+} АДСОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ Li_2TiO_3 И $Li_4Ti_5O_{12}$	47
<i>И. М. Здрецов, А. М. Герасимов</i> ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАОЛИНА КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕОЛИТОВ	51
<i>В. А. Потапов, М. В. Мусалов, Р. С. Ишигеев, Л. А. Беловежец, А. Г. Ха- бибулина, А. А. Майлян, А. А. Пакеева, М. В. Мусалова, С. А. Живетьева, С. В. Амосова</i> ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ НЕНАСЫЩЕННЫХ И ХАЛЬКОГЕНОРГАНИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ НА ОСНОВЕ ГАЛО- ГЕНИДОВ ХАЛЬКОГЕНОВ, АЦЕТИЛЕНА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ	58
<i>А. Ю. Сидоренко, Ю. М. Курбан, Т. В. Халимонюк, И. В. Ильина, Н. С. Ли- Жуланов, М. П. Бей, Ж. В. Игнатович, К. П. Волчо, Н. Ф. Салахутдинов, Д. Ю. Мурзин, В. Е. Агабеков</i> КАТАЛИТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ 4-ГИДРОКСИМЕТИЛ-2-КАРЕНА ИЗ 3-КАРЕНА	60
<i>А. Н. Красковский, М. Е. Мацкин, В. И. Куликовская</i> ФОРМИРОВАНИЕ И СВОЙСТВА СКАФФОЛДОВ НА ОСНОВЕ ХИ- ТОЗАНА	62
<i>А. И. Иванец, И. Л. Шашкова, Н. В. Китикова, А. С. Дикая</i> ПРИМЕНЕНИЕ СЛОЖНЫХ (Ca, Mg)-Zr ФОСФАТОВ В ПЕРЕРАБОТ- КЕ ЖРО	65
<i>В. В. Матусевич, А. П. Поликарпов, В. И. Грачек, Г. Н. Лысенко, О. И. Иса- кович, Г. В. Медяк, А. А. Шункевич, З. И. Акулич</i> ОСОБЕННОСТИ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛОКНИ- СТОГО АНИОНИТА ФИБАН АК-22 НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОКСИЛАМИНА	68

<i>Е. В. Воробьева, В. Е. Агабеков</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИГНИНА В КАЧЕСТВЕ ПРИРОДНОГО АНТИ- ОКСИДАНТА ДЛЯ ПОЛИЭТИЛЕНА	71
<i>Ю. В. Матвеевко, Ю. С. Шатилов, В. Е. Агабеков, А. А. Рогачев, Ж. В. Иг- натович</i> УЛУЧШЕНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ТКАНЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИОКСАДИАЗОЛЬНЫХ ВОЛОКОН	74
<i>Е. В. Авдеева, А. М. Михалко, А. В. Петкевич, Н. В. Дудчик, А. А. Рогачев, В. Е. Агабеков</i> ПОВЫШЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НЕТКАНЫХ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ МАСОК	77
<i>Ю. В. Матвеевко, Ж. В. Игнатович, В. И. Вовк, В. А. Терешков, Ю. С. Ша- тилов, А. А. Рогачев, В. Е. Агабеков</i> РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ МОДИФИКАЦИИ ВОЛОКОН И ТКА- НИ АРСЕЛОН ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕ- СКИХ И ОГНЕЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК	80
<i>Я. С. Игнатович, К. В. Лазнев, Ж. В. Игнатович, А. А. Рогачев, В. Е. Ага- беков</i> 3D-ПЕЧАТЬ ГИДРОГЕЛЯМИ НА ОСНОВЕ ПЕКТИНА И АГАРОЗЫ С КЛЕТКАМИ <i>CHLORELLA VULGARIS</i>	83

ТЕЗИСЫ СТЕНДОВЫХ ДОКЛАДОВ

<i>А. Г. Подрезова, Е. В. Никитина</i> РЕАКЦИЯ ДИЛЬСА-АЛЬДЕРА МЕЖДУ БИС-ФУРИЛ ДИЕНАМИ И ЭФИРАМИ ФУМАРОВОЙ КИСЛОТЫ В УСЛОВИЯХ СВЕРХВЫ- СОКИХ ДАВЛЕНИЙ.....	87
<i>Ю. И. Пузин, О. А. Коровина</i> ВОДОРАСТВОРИМЫЙ ПОЛИМЕР НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННО- ГО ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА	90
<i>Н. Т. Севостьянова, С. А. Баташев, А. С. Родионова, Д. К. Козленко</i> СОВМЕЩЕННЫЙ В ОДНОМ РЕАКТОРЕ ПРОЦЕСС ДЕГИДРА- ТАЦИИ СПИРТОВ И АЛКОКСИКАРБОНИЛИРОВАНИЯ АЛКЕ- НОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ.....	93
<i>Е. Г. Петрова, А. С. Баранова, О. В. Панибрат, В. В. Паньков, Т. Г. Шу- това</i> БИОСОВМЕСТИМЫЕ МАГНИТНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ ФЕРРИТОВ-ШПИНЕЛЕЙ.....	97

<i>Ю. В. Максимук, М. В. Антонова, В. С. Крук, В. Н. Курсевич</i> ВЛИЯНИЕ ПРОИСХОЖДЕНИЯ БИОМАССЫ НА ВЫХОД ГИДРО- УГЛЯ В ПРОЦЕССЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ КАРБОНИЗАЦИИ...	101
<i>Г. З. Раскильдина, Ю. Г. Борисова, А. И. Мусин, С. С. Злотский</i> НОВЫЙ СПОСОБ СИНТЕЗА АЦЕТАЛЕЙ АРИЛАКРОЛЕИНА.....	103
<i>Акишина Е. А., Дикусар Е. А., Мукушева Г. К., Сейдахметова Р. Б., Алиева М. Р., Тойгамбекова Н. Н., Поткин В. И.</i> СИНТЕЗ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НОВЫХ КОМБИНИ- РОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ХИНИНА.....	105
<i>Николайчук В.В., Гилевская К.С., Куликовская В.И.</i> ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА В МАТ- РИЦЕ ХИТОЗАНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУ- ЧЕНИЯ.....	109
<i>Т. Ф. Кузнецова, Е. А. Копыш, Н. П. Мельникова, А. И. Царев, Д. В. Печенка, А. В. Кондрашев, А. И. Иванец</i> МЕТАЛЛОСИЛИКАТНЫЕ НАНОРАЗМЕРНЫЕ АДсорбенты: СИНТЕЗ И КОНТРОЛЬ ТОПОЛОГИИ МЕЗОПОР	112
<i>Н. Р. Бабаев, Х. М. Алимарданов, О. А. Садыгов</i> 4-[(3a,4,5,7,7a)-6-(ПЕНТИЛТИО)-ОКТАГИДРО-1Н-4,7-МЕТАНОИН- ДЕН-5-ИЛ) МОРФАЛИН В КАЧЕСТВЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПРИСАДКИ	116
<i>Ю. Б. Рамазанова, А. Р. Юсифова, А. А. Гусейнова, З. К. Магеррамова, М. И. Гасьмова</i> НЕФТИ АЗЕРБАЙДЖАНА КАК СЫРЬЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ.....	118
<i>О. Х. Каримов, Э. Х. Каримов, Э. М. Мовсумзаде, В. Р. Флид</i> БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЛИГНОСУЛЬФО- НАТОВ В ВОСТРЕБОВАННЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ПРОДУКТЫ	120
<i>Г. К. Мукушева, М. Р. Алиева, Р. И. Джалмаханбетова, Р. Б. Сейдахметова</i> ДИМЕРНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ АЛКАЛОИДОВ И ИХ БИОЛОГИЧЕ- СКАЯ АКТИВНОСТЬ	124
<i>А. М. Бессарабов, В. Е. Трохин, В. А. Василенко, Д. А. Гришаева</i> РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА АНАЛИТИЧЕСКОЙ ЛА- БОРАТОРИИ В МАЛОТОННАЖНОЙ ХИМИИ	127
<i>В. Е. Трохин, А. М. Бессарабов, И. Ю. Кириллова, В. В. Челноков</i> ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ АССОРТИМЕНТА ХИМИЧЕСКИХ РЕАК- ТИВОВ ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	129

<i>В. Е. Трохин, А. М. Бессарабов, А. А. Клевцов</i> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ПРОМЫШЛЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ МАЛОТОННАЖНОЙ ХИМИИ.....	131
<i>В. Е. Трохин, М. В. Бутакова, О. В. Гусева, А. М. Бессарабов</i> РЕАКТИВЫ ДЛЯ ВОДОПОДГОТОВКИ В СИСТЕМЕ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ МАЛОТОННАЖНОЙ ХИМИИ.....	133
<i>Г. Г. Приоров, А. М. Бессарабов, А. Н. Глушко</i> ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕСНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ РЕАГЕНТОВ НА ОБЪЕКТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	135
<i>Х. А. Новик, Ж. В. Игнатович, Л. Н. Филиппович, С. Н. Лемешонок, Д. А. Данилова, А. А. Рогачев</i> СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИПИРРОЛА.....	137
<i>Е. В. Авдеева, С. Н. Лемешонок, Х. А. Новик, Л. Н. Филиппович, Ж. В. Игнатович, А. А. Рогачев</i> УГЛЕРОДНЫЙ МАТЕРИАЛ С ПОКРЫТИЯМИ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА.....	142
<i>Е. В. Авдеева, А. А. Рогачев</i> ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ КВЕРЦЕТИНА НА ЗАЩИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТИЙ ПОЛИЛАКТИДА.....	144
<i>Е. В. Авдеева, А. М. Михалко, А. В. Петкевич, А. А. Рогачев, В. Е. Агабеков</i> ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА НЕТКАНЫХ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	146
<i>Б. Д. Маматкодиров, Й. Ю. Якубов, А. Ю. Сидоренко, В. Е. Агабеков, А. Б. Ибрагимов</i> СИНТЕЗ НАНОТРУБОК НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛА КАОЛИНА СУЛТАН УВАЙС.....	149

ON-LINE УЧАСТИЕ

<i>Д. С. Коновалов, В. В. Зувев</i> ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫЕ КОМПОЗИТЫ НА БАЗЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ, УСИЛЕННЫЕ ВОЛОКНАМИ ДРЕВЕСИНЫ.....	152
<i>М. И. Шатинова, А. Р. Караева, Ш. Ф. Нагиева, Л. Й. Гаджиева, Г. М. Мамедова</i> ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ 1-(2-АМИНОЭТИЛ)-3-АЛКИЛ-(АРИЛ)-5-МОРФОЛИНОМЕТИЛПИРАЗОЛИНОВ С АНГИДРИДАМИ.....	155

<i>М. И. Шатинова, Н. Х. Гусиев, У. Ш. Джафарова, Н. Т. Джафарова, А. О. Алиева</i> СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ЭПОКСИСПИРТОВ В ЦИКЛОГЕКСАНОНЕ...	157
<i>М. И. Шатинова, А. Р. Караева, Ш. Ф. Нагиева, Л. Й. Гаджиева, Г. М. Мамедова</i> ФУНКЦИОНАЛЬНОЗАМЕЩЕННЫЕ КАРБАЗОИЛ-МЕТИЛПИРАЗОЛЫ В СИНТЕЗЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ	159
<i>Д. Ш. Гамидова, Э. У. Исаков, М. А. Гасанова, Р. М. Исмайлова, Г. Р. Аллахвердиева</i> МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩАЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ПРИСАДКА СУКЦИНИМИДНОГО ТИПА	161
<i>А. Z. Mindubaev, E. V. Babynin, S. T. Minzanova</i> BIOLOGICAL DEGRADATION OF THE FIRST HAZARD CLASS ECOTOXICANT – WHITE PHOSPHORUS	163
<i>М. В. Нагиева, К. Ш. Алиева, У. Р. Курбанова, Ч. К. Расулов</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКЦИИ C ₄ -C ₅ ПИРОЛИЗА НИЗКООКТАНОВОГО БЕНЗИНА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК	165

ЗАОЧНОЕ УЧАСТИЕ

<i>С. И. Мамедова, К. Т. Аскерова, Н. П. Ладохина</i> АМИНОМЕТИЛИРОВАНИЕ 1-АРИЛПИРАЗОЛ СОДЕРЖАЩИХ СУЛЬФОАМИДОВ.....	170
<i>С. И. Мамедова, Н. П. Ладохина, Ш. Б. Аббасова, К. Т. Аскерова, Э. Ю. Алиев</i> СИНТЕЗ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДИГИДРОПИРИМИДИНОВ	172
<i>Н. Н. Новоторжина, А. Р. Суджаев, Ш. К. Кязимзаде, Г. А. Гахраманова, М. Р. Сафарова, М. Н. Мусаева, Е. С. Мустафаева</i> n-ТОЛУОЛСУЛЬФОДИЗОПРОПИЛДИТИОФOSFAT КАК ПРОТИВОИЗНОСНАЯ И ПРОТИВОЗАДИРНАЯ ПРИСАДКА К ТРАНСМИССИОННЫМ МАСЛАМ	175
<i>А. А. Гадиров, Э. А. Нагиева, В. М. Фарзалиев, С. И. Насирова</i> НЕКОТОРЫЕ БОРСОДЕРЖАЩИЕ ПРОИЗВОДНЫЕ АЗОМЕТИНА В КАЧЕСТВЕ АНТИОКСИДАНТОВ К СИНТЕТИЧЕСКИМ МАСЛАМ	178
<i>С.М.Велиева, И.Д.Кулалиев, К.А.Салманова, И.А.Садирзаде</i> ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИЕ СУЛЬФОНАТНЫЕ ПРИСАДКИ К МОТОРНЫМ МАСЛАМ.....	180

<i>В. М. Фарзалиев, Р. М. Бабац, Р. Ф. Мамедова, Г. М. Кулиева, Г. Ш. Ейвазова</i>	
СИНТЕЗ 1,3-ДИМОРФОЛИНОПРОПАН-2-ОЛА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО В КАЧЕСТВЕ ЗАЩИТНЫХ ПРИСАДОК К СМАЗОЧНЫМ МАСЛАМ.....	182
<i>В. М. Фарзалиев, М. Т. Аббасова, Л. Р. Сафарова, М. Г. Аббасов, М. А. Мирзоева, Г. М. Кулиева, Н. А. Алиева</i>	
СИНТЕЗ АЛКОКСИМЕТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ИМИДАЗОЛА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ.....	184
<i>Э. И. Мамедова, Р. З. Багирзаде, Ч. К. Расулов</i>	
КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ЦИКЛОАЛКИЛИРОВАНИЕ ФЕНОЛА ЦИКЛОДИМЕРОМ ДИВИНИЛА НА ЦЕОЛИТАХ	186
<i>Б. Аминова, П. Ш. Мамедова, Т. М. Ибрагимова, К. Р. Кахраманова, А. Э. Алмамедова, Г. А. Мамедова</i>	
ФУНГИЦИДНЫЕ СВОЙСТВА АРОМАТИЧЕСКИХ АЗОМЕТИНОВ НА ПРИМЕРЕ БЕНЗИЛИДЕНДИТИО-КАРБАМИДА И БЕНЗИЛИДЕНТИОСЕМИКАРБОЗИДА	189
<i>А. Р. Суджаев, Н. Н. Назаров, И. А. Рзаева, Н. М. Григорьева, С. С. Годжаева</i>	
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКИСЛИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ 2-ОКСО-1,2,3,4-ТЕТРАГИДРОПИРИМИДИН – 5 – КАРБОКСИЛАТОВ	191
<i>У. Р. Гурбанлы, А. А. Гасанов, Г. З. Гейдарлы, Ч. К. Расулов</i>	
ПОЛУЧЕНИЕ СТАБИЛИЗАТОРА ПОЛИЭТИЛЕНА В.Д. НА ОСНОВЕ ФРАКЦИИ 130÷190 °С ЖИДКОГО ПРОДУКТА ПИРОЛИЗА	194
<i>Л. К. Кязим-заде, Д. Ш. Гамидова, Э. И. Гасанова, Э. У. Исаков, И. А. Рзаева, Н. Д. Гусейнова</i>	
АНТИОКИСЛИТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ СОПОЛИМЕРОВ СЛОЖНЫХ АЛЛИЛОВЫХ ЭФИРОВ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ	196
<i>С. Ф. Османова, К. Р. Кахраманова, Н. Р. Мамедова</i>	
РЕАКЦИЯ АМИДИРОВАНИЯ 1,1-БИС-(КАРБОКСИМЕТИЛТИО)-1-П-НИТРОФЕНИЛЭТАНА ПЕРВИЧНЫМИ АМИНАМИ	198
<i>А. Х. Мовсумова, С. Т. Шахмурадов</i>	
КАТАЛИТИЧЕСКОЕ АЛКИЛИРОВАНИЕ О-ХЛОРФЕНОЛА МЕТИЛЦИКЛОГЕКСЕНАМИ	200
<i>Г. Ф. Нәҗијева, Ч. К. Расулов</i>	
REACTIONS OF ETHERIFICATION DIVINYLATED C ₄ -FRACTION OF PYROLYSIS WITH ETHANOL	202
	225

<i>Б. Н. Кузнецов</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВОСТРЕБОВАННЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ, ОСНОВАННЫЕ НА ЭКСТРАКЦИ- ОННО-КАТАЛИТИЧЕСКОМ ФРАКЦИОНИРОВАНИИ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ	204
<i>Х. К. Эфендиева, Р. Ш. Мамедова, А. Э. Алмамедова, Ш. Я. Гамидова, Г. А. Мамедова</i> СИНТЕЗ О-ДИМЕТИЛАМИНОЭТИЛ-S-АЛЛИЛКСАН-ТОГЕНАТА ...	206
<i>Э. И. Гасан-заде, Н. Н. Михайлова, С. Ю. Шавиукова</i> ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНА- ЧЕНИЯ	208
<i>С. Д. Грачев, Н. Н. Михайлова, С. Ю. Шавиукова</i> ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ СИНТЕТИЧЕСКИХ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ.....	212
<i>К. З. Гусейнов, Д. Г. Гамбаров</i> ЭФИРЫ ТИОГЛИКОЛЕВОЙ КИСЛОТЫ КАК АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕАГЕНТЫ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОБЪ- ЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	214
<i>К. З. Гусейнов, Н. А. Алиев, И. М. Эйвазова</i> УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕФТЯНЫХ ТОПЛИВ ПРИСАДКАМИ.....	216
<i>Авторский указатель докладчиков</i>	218

Научное издание

**АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ
СЫРЬЯ И ТОПЛИВА**

**Тезисы докладов IX Международной
научно-технической конференции «АИСТ-2023»,
Минск, 17–20 октября 2023 г.**

В двух частях. Часть 1

Ответственный за выпуск *Т. А. Горбачевская*

Художественный редактор *В. В. Домненков*

Технический редактор *М. В. Савицкая*

Компьютерная верстка *И. В. Счеснюк*

Подписано в печать 09.10.2023. Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 12,32. Уч.-изд. л. 7,0. Тираж 120 экз. Заказ 217.

Издатель и полиграфическое исполнение:
«Издательский дом «Беларуская навука».

Свидетельства о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/18 от 02.08.2013,
№ 2/196 от 05.04.2017.

Ул. Ф. Скорины, 40, 220084, г. Минск.

