

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Сборник материалов
XIII Международной молодежной
научно-практической конференции
(г. Уфа, 16-17 июня 2026 г.)



Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уфимский университет науки и технологий»

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
СОВРЕМЕННОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ**

*Сборник материалов
XIII Международной молодежной
научно-практической конференции
(г. Уфа, 16–17 июня 2026 г.)*

Научное электронное издание сетевого доступа

Уфа
Уфимский университет
2026

УДК 66
ББК 35
А43

*Публикуется по решению кафедры неорганической и технической
химии ИХЗЧС УУНУТ.*

Протокол № 11 от 19.06.2026 г.

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, доц. **А. А. Мухамедзянова** (*отв. редактор*)

канд. хим. наук, доцент **Э. М. Миннибаева**

канд. хим. наук, доцент **Э. Р. Каримова**

канд. хим. наук **А. Ф. Вахитова**

канд. хим. наук **Э. Т. Ямансарова**

Актуальные вопросы современного материаловедения: сборник материалов XIII Международной молодежной научно-практической конференции (г. Уфа, 16–17 июня 2026 г.) / отв. ред. А. А. Мухамедзянова [Электронный ресурс] / Уфимск. ун-т науки и технологий. – Уфа: Уфимский университет, 2026. – 217 с. – URL: <https://uust.ru/media/documents/digital-publications/2026/190.pdf> – Загл. с титула экрана.
ISBN 978-5-7477-6455-2

В сборнике представлены материалы докладов конференции по следующим направлениям: химическая технология, органический синтез, биотехнология, полимерное материаловедение, изучение каталитических систем, ресурсосберегающие технологии в нефтепереработке и др. Представлены составы, свойства материалов и возможности их практического применения.

Материалы конференции будут интересны для студентов и преподавателей инженерных и химических направлений, для работников предприятий химической, полимерной и фармацевтической промышленности.

УДК 66
ББК 35

ISBN 978-5-7477-6455-2

© Уфимский университет, 2026

ВВЕДЕНИЕ

XIII Международная молодежная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы современного материаловедения», прошедшая в Уфимском университете науки и технологий 16-17 июня 2026 года, вновь подтвердила свой статус авторитетной дискуссионной площадки для молодых ученых. Свои исследования представили молодые специалисты из Уфы, Казани, Челябинска, Москвы, Санкт-Петербурга, а также из стран Вьетнама и Молдовы. Такое представительство свидетельствует о высокой значимости поднимаемых проблем и о консолидации усилий мирового научного сообщества в поиске ответов на вызовы современного материаловедения.

Тематика представленных работ охватывает широчайший спектр направлений – от фундаментальных аспектов химической технологии и органического синтеза до прикладных задач биотехнологии и полимерного материаловедения. Особый интерес, отраженный в сборнике, вызвали исследования в области изучения новых каталитических систем, разработки ресурсосберегающих технологий для нефтепереработки, а также вопросы получения и модификации перспективных материалов, включая нанокompозиты и биосовместимые полимерные структуры.

Современное материаловедение выступает в роли локомотива научно-технического прогресса, определяя облик будущих технологий. Представленные в сборнике работы демонстрируют глубокий интерес молодых исследователей к решению актуальных задач – от создания новых лекарственных форм и эффективных сорбентов до разработки инновационных защитных покрытий и высокотемпературной керамики.

Мы убеждены, что идеи, предложенные участниками, внесут весомый вклад в развитие промышленности и научных школ, а сам сборник послужит полезным источником актуальной информации для студентов, аспирантов, преподавателей и специалистов химических, инженерных и фармацевтических направлений. Выражаем искреннюю благодарность всем авторам, рецензентам и организаторам за труд и энтузиазм, способствующие процветанию отечественной и мировой науки.

СИНТЕЗ КОМПЛЕКСОВ КВЕРЦЕТИНА С ЯБЛОЧНЫМ ПЕКТИНОМ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ

Акбулатова Г.Р.¹, Ямансарова Э.Т.¹, Звoryгина О.Б.²

¹ Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

² Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа,
Россия

В числе ключевых направлений при создании инновационных лекарственных средств – увеличение времени обращения препарата в крови, повышение его биодоступности и снижение выраженности побочных эффектов. Поэтому исследования растительных биологически активных веществ не теряют актуальности и обладают высоким научно-практическим заделом.

Биофлавоноиды отличаются ярко выраженной фармакологической активностью и многообразным терапевтическим действием. Они находят применение как в виде индивидуальных соединений, так и в составе суммарных растительных экстрактов, в качестве основного либо вспомогательного средства.

Вместе с тем большинству этих соединений свойственна плохая растворимость в воде и, как следствие, низкая биодоступность.

Являясь обязательными компонентами растительных тканей, они существуют в виде комплекса с полисахаридами, такими, как гемицеллюлозы, пектиновые вещества. Причем, при комплексообразовании с полимерами преобладают слабые взаимодействия. Возможны также электростатические взаимодействия [1]. При создании комплексных препаратов на основе биофлавоноидов логично использовать стратегию конъюгирования с водорастворимыми полисахаридами, например, пектином.

Целью данной работы является исследование комплексообразования кверцетина с яблочным пектином в зависимости от условий. В качестве исходного полисахарида использовали препарат пектина производства марки «Русский аппетит».

Синтез комплексов осуществляли по методике, описанной в [2] путем сливания равных объемов водно-спиртового раствора кверцетина (1 мг/мл) и 1%-ного водного раствора или 1%-ного раствора в физиологическом растворе полисахарида при комнатной температуре, и перемешивали в течении 30 мин. Выпавший в осадок комплекс отфильтровывали и растворяли в воде.

Образование комплекса регистрировали по смещению максимума поглощения кверцетина в УФ-области спектра.

УФ-спектр кверцетина, который записывали в его растворе в 40%-ном водном этаноле (1 мг/мл), имеет четко выраженный максимум поглощения при 376 нм (Рис. 1), что согласуется с литературными

данными [3]. В воде наблюдаются максимумы поглощения в области 260 и 375 нм, что также согласуется с литературными данными. Интенсивность поглощения в этих условиях небольшая в виду пониженной растворимости кверцетина.

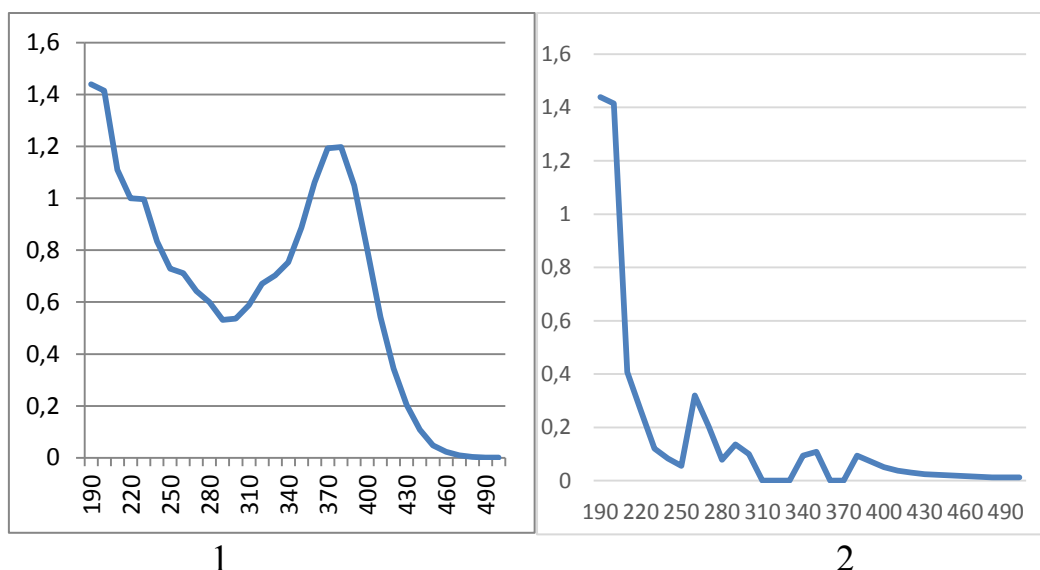


Рисунок 1. Электронные спектры кверцетина в 40%-ном этиловом спирте (1) и в воде (2)

При образовании комплекса в электронных спектрах будет наблюдаться смещение максимумов поглощения по сравнению со спектрами исходных веществ.

Спектры пектина, зарегистрированные в УФ и видимой областях, для образцов, растворенных в воде и 9%-ном хлориде натрия не имеют максимумов поглощения. Для спектра пектина, растворенного в 9%-ном NaCl характерно наличие пика в области 200 нм.

Комплексы кверцетина с пектином при этом могут быть охарактеризованы λ_{max} , мало зависящей от растворителя. В разбавленном растворе хлорида натрия и воде она составляет 310 нм, в 9%-ном NaCl – 320 нм. При этом по отношению к кверцетину во всех случаях наблюдался bathochromic shift по отношению ко 2 полосе поглощения на 10-30 нм (рис. 2). Это говорит в пользу образования комплекса между кверцетином и пектином. Данные спектров сведены в таблицу 1.

Анализ таблицы показывает, что наличие сильного электролита в растворе комплекса мало влияет на его спектральные характеристики в случае комплексов с низкоэтерифицированным пектином, это следует из значения $\Delta\lambda=20-30$ нм. Причем имеет место корреляция – чем выше ионная сила среды, тем меньший сдвиг имеет максимум поглощения.

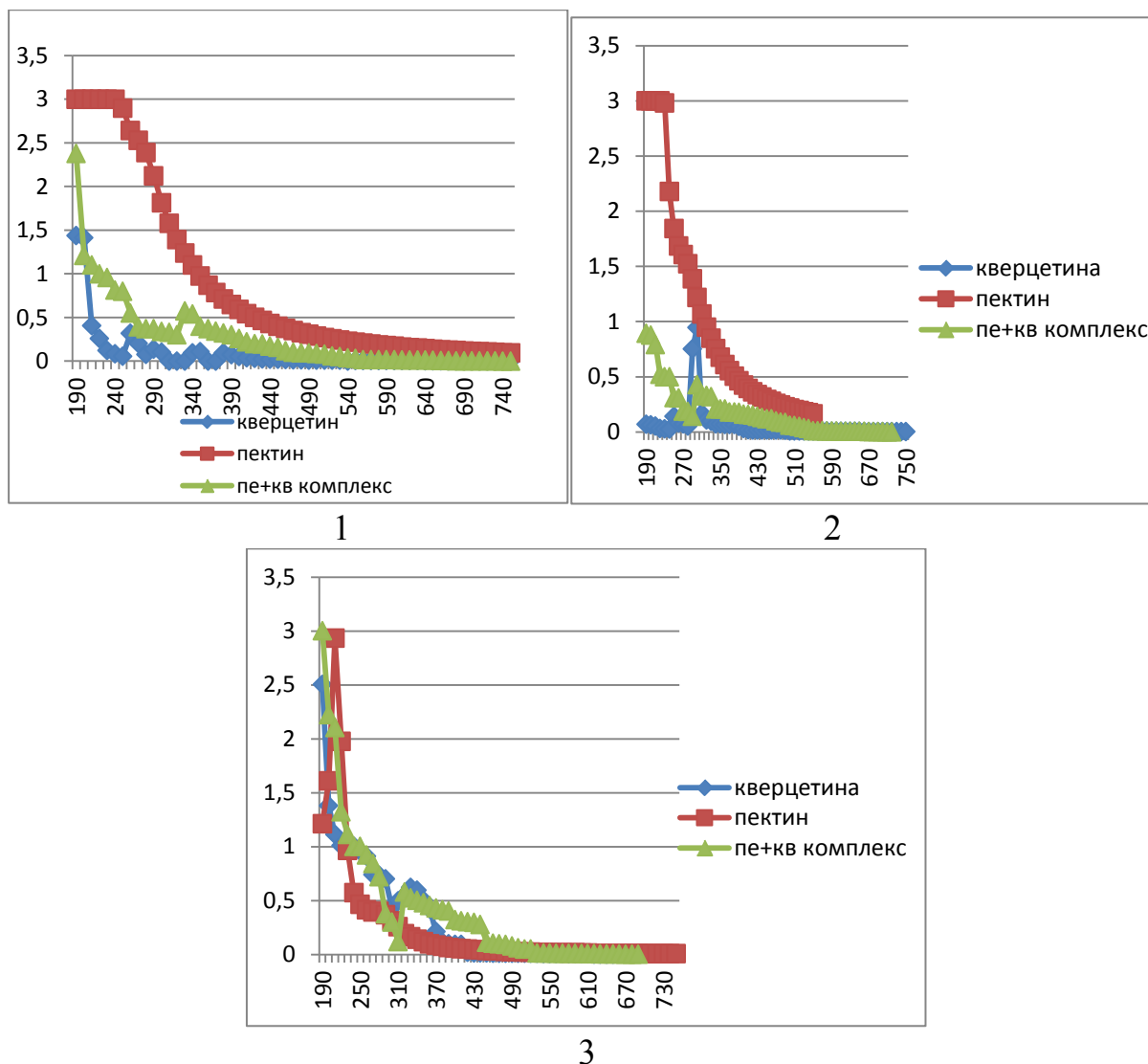


Рисунок 2. Спектры в кверцетина, пектина и комплекса КВ+П в воде (1), 0,9%-ном NaCl (2) и 9%-ном NaCl (3).

Таблица 1

Максимумы поглощения исходных веществ и комплексов в разных растворителях

растворитель	$\lambda_{\max}$		
	кверцетин	пектин	КВ+П
40%-ный этанол	376	-	-
Вода	260 375	-	310
Физиологический раствор	245 290	-	310
9%-ный раствор NaCl	250 290	220	320

Вероятно, это можно объяснить тем, что пектиновая молекула является полианионом и в среде сильного электролита наблюдается

экранирование электростатических зарядов ионов натрия и хлора. При добавлении NaCl наблюдается компактизация цепи пектина и макромолекула сворачивается в более плотный клубок. Как следствие меньшая склонность пектина к комплексообразованию с фенолами в этой среде.

Список литературы

1. Interactions between cell wall polysaccharides and polyphenols: Effect of molecular internal structure Xuwei Liu, Carine Le Bourvellec, Catherine M. G. C. Renard. doi: 10.1111/1541-4337.12632 // Comprehensive reviews in food science and food safety/ 2020;19:3574–3617.

2. Каюмова Л.А., Ямансарова Э.Т., Зворыгина О.Б. Конъюгаты кверцетина с крахмалом и микрокристаллической целлюлозой // В сборнике: Актуальные вопросы современного материаловедения. Материалы IX Международной молодежной научно-практической конференции. Отв. редактор А.А. Мухамедзянова. Уфа, 2022. С. 92-95.

3. Srivastava N., Bansal A., Aggarwal K., Nagpal K. Разработка и валидация УФ-спектрофотометрического метода количественной оценки кверцетина в нерасфасованном виде с последующим исследованием его растворимости // Журнал прикладной спектроскопии. 2024. Т.91, №3. С.470

© Акбулатова Г.Р., Ямансарова Э.Т., Зворыгина О.Б., 2026

УДК 691.215.1

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ГИДРОФОБИЗАЦИИ ЩЕБНЯ ИЗ ИЗВЕСТНЯКА-РАКУШЕЧНИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Алехина И. Е., Фаздалова И. Р.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Щебеночный материал фракции 10-20 мм, получаемый из известняка-ракушечника, находит широкое применение в процессе изготовления бетонных изделий и при формировании оснований дорожных одежд [1]. Тем не менее, естественные характеристики ракушечника, такие как значительная пористость (от 22% до 50%), повышенное водопоглощение (достигающее 25%), низкая морозостойкость (в пределах марок F15-F35), а также склонность карбонатной составляющей к растворению, существенно сужают сферы его применения в ответственных строительных конструкциях. В связи с этим поиск действенных способов гидрофобизации щебня становится крайне актуальным для более рациональной эксплуатации местных сырьевых баз [2]. В текущей строительной практике доминируют два основных подхода к модификации: пропитка водными полисульфидными растворами в обычных температурных условиях и обработка расплавом серы,

требующая значительного нагрева и создания вакуума [3]. Лабораторные испытания проводились на образцах щебня, добытого на Бейнеуском месторождении, для которого характерны начальное водопоглощение на уровне 25% и насыпная плотность $0,675 \text{ г/см}^3$ [1]. Процесс полисульфидной модификации заключался в выдерживании материала в растворах препарата «Аквастат» (плотностью от 1,17 до $1,35 \text{ г/см}^3$) на протяжении 60 минут при температуре 24°C . В свою очередь, серная пропитка реализовывалась после предварительной сушки и вакуумирования при температурном режиме 160°C с выдержкой 30 минут [5]. Полученные данные продемонстрировали прямую корреляцию между результативностью гидрофобизации и концентрацией применяемого реагента. Так, использование раствора с плотностью $1,17 \text{ г/см}^3$ позволило уменьшить водопоглощение с исходных 25,0% до 8,1%, то есть более чем в три раза [5, 6]. Увеличение данного параметра до $1,24 \text{ г/см}^3$ обеспечило достижение оптимального значения в 5,2%, тогда как дальнейшее повышение плотности до $1,35 \text{ г/см}^3$ не привело к дополнительному снижению показателя [7]. Выявленная тенденция дает возможность рационально расходовать химические компоненты, отдавая предпочтение растворам со средними концентрационными характеристиками [8]. При этом насыпная плотность модифицированного материала возросла лишь незначительно, примерно на 2,4% (до значений $0,685\text{--}0,691 \text{ г/см}^3$), что подтверждает факт преимущественного заполнения именно поверхностных пор без нарушения исходной гранулометрии. Параллельно с этим прочность на сжатие возросла в 1,36 раза (с 0,53 до $0,72 \text{ МПа}$), что объясняется образованием новых межчастичных связей внутри структуры.

Сравнительный анализ методик показал, что серная обработка выигрывает по ряду технических показателей: она снижает водопоглощение в 13,3 раза (до 2,1%) по сравнению с 4,6-кратным уменьшением (до 5,2%) при полисульфидном методе, а также повышает прочность в 2,1 раза (до $1,24 \text{ МПа}$) против 1,36 раза. Тем не менее, внедрение технологии серной пропитки сопряжено с рядом серьезных технологических ограничений, среди которых многостадийность процедур, обязательный нагрев до $140\text{--}160^\circ\text{C}$, потребность в вакуумном оборудовании, высокие энергозатраты, а также вероятность термического растрескивания зерен [3]. В этом контексте полисульфидный метод представляется наиболее сбалансированным с точки зрения соотношения получаемого эффекта и технологической простоты. Данный процесс протекает при обычной температуре, исключая затраты энергии на нагрев и необходимость использования вакуумных установок, поскольку проникновение активного вещества обеспечивается естественными капиллярными силами и диффузией. Подготовка рабочих составов сводится к простому растворению полисульфида кальция в воде, что легко осуществимо на базе любого производственного объекта. Кроме того, к экологическим плюсам можно отнести отсутствие вредных эмиссий и

легкость утилизации использованных жидкостей [9]. Практическая ценность предлагаемой технологии состоит в реальной возможности перевода добычных отходов в разряд востребованных материалов для дорожного хозяйства. Достижение показателей водопоглощения на уровне 5,2-8,1% для щебня и 1,9-4,5% для песка позволяет приблизить свойства данных заполнителей к характеристикам инертных материалов из плотных горных пород [11]. Подобные гидрофобизированные песчано-щебеночные смеси вполне пригодны для формирования оснований автомобильных дорог IV и V категорий, а также для отсыпки подъездных и временных путей сообщения [4]. Экономическая целесообразность данного подхода базируется на низкой стоимости исходного сырья, отсутствии расходов на термическую обработку и возможности организации производственных циклов непосредственно в зонах добычи [8]. Замещение привозного щебня местным модифицированным ракушечником способно сократить сметную стоимость строительства региональных дорог на 30-40%. Наличие доступных месторождений на территории Российской Федерации и Казахстана формирует благоприятную базу для создания локальных производственных цепочек, полностью отвечающих современным принципам устойчивого развития [10,11].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-26-00767)

Список литературы

1. Массалимов И.А., Массалимов Б.И., Ахметшин Б.С., Уракаев Ф.Х., Буркитбаев М.М. Преобразование отходов добычи известняка-ракушечника пропиткой полисульфидными растворами // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. 2020. Т. 12, № 2. С. 77-83. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-27-77-83.
2. ГОСТ 9758-2012. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний. Москва: Стандартинформ, 2012. 24 с.
3. Массалимов Б.И. Пропитка бетонов расплавленной серой: физико-химические основы и технологические аспекты // Бетон и железобетон. 2018. № 6. С. 22-27.
4. Буркитбаев М.М., Уракаев Ф.Х. Применение местных карбонатных материалов в дорожном строительстве: проблемы и перспективы // Дороги и мосты. 2019. № 2. С. 145--152.
5. Ахметшин Б.С., Массалимов И.А. Энергоэффективные технологии модификации минеральных заполнителей для дорожного строительства // Вестник Башкирского государственного университета. 2020. Т. 25, № 3. С. 201-207.
6. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. Москва: Издательство стандартов, 1993. 18 с.

7. Уракаев Ф.Х. Термодинамические аспекты пропитки карбонатных пород серосодержащими композициями // Журнал физической химии. 2019. Т. 93, № 7. С. 1156-1163.

8. Массалимов И.А. Ресурсосберегающие технологии в производстве строительных материалов из отходов горнодобывающей промышленности // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24, № 5. С. 34-39.

9. ГОСТ Р 52128-2003. Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства. Москва: Госстандарт России, 2003. 14 с.

10. Буркитбаев М.М., Ахметшин Б.С. Региональные особенности применения известняковых заполнителей в строительстве стран Таможенного Союза // Вестник Казахского национального университета имени аль-Фараби. Серия геология. 2020. № 1 (101). С. 78-85.

11. Массалимов И.А., Чуйкин А.Е., Массалимов Б.И., Ахметшин Б.С., Уракаев Ф.Х., Буркитбаев М.М., Мустафин А.Г. Долговременная защита строительных конструкций с использованием наноразмерных покрытий на основе серы // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2019. Т. 11. № 3. С. 276-287.

© Алехина И. Е., Фаздалова И. Р., 2026

УДК 663.2

ИСКУССТВО ДОМАШНЕГО ВИНОДЕЛИЯ: ОТ СЕМЕЙНОГО РЕЦЕПТА К ГОТОВОМУ ПРОДУКТУ

Атарская И.В., Ишмуратова Г.И.
МАОУ Школа №119, Уфа, Россия

В работе использовался виноград сорта «Лидия», и вишня сорта «Владимирская». Сбор урожая был в сухую солнечную погоду в конце сентября, так как в это время максимальное количество сахара. Всего было собрано около 10 килограммов винограда и более 20 килограмм вишни.

Оборудование подбиралось в соответствии с современными требованиями гигиены.

Особое внимание уделяется стерилизации. Как отмечают авторы учебника «Технология вина» [2], чистота оборудования — важнейшее условие для предотвращения порчи вина посторонними микроорганизмами. Все ёмкости были тщательно вымыты горячей водой с пищевой содой, после чего многократно ополоснуты и ошпарены кипятком. Бутыли дополнительно просушены в перевёрнутом виде, чтобы исключить попадание влаги. Гидрозатвор и шланг были обработаны слабым раствором марганцовки.

Процесс изготовления вина проводился строго по технологической карте, составленной на основе семейного рецепта. Первым шагом стало дробление ягод: сортировка ягод (удаление повреждённых и подгнивших),

после чего чистыми руками в стеклянной банке аккуратно раздавливаем их, стараясь не повредить косточки (см. рис. 1). Как объясняла бабуля, «косточки целыми оставить надо, чтобы горечи не было». Позже, изучая литературу, подтвердилось правило: при повреждении косточек в сусло попадают излишние танины, придающие вину грубый вяжущий вкус.



Рис. 1. Мезга

Полученную мезгу (смесь сока, кожуры и мякоти) перекладываем в эмалированную кастрюлю, накрываем чистой марлей и ставим в тёплое место с температурой 22-24°C. В соответствии с традицией, в сусло добавили горсть немытого винограда — это естественный источник «диких» дрожжей. Уже на второй день появились признаки брожения: характерный кисловатый запах и пузырьки газа. На третьи сутки на поверхности образовалась плотная «шапка» из кожуры (см. рис. 2). Ежедневно 3-4 раза перемешиваем эту «шапку», погружая её в сусло, чтобы предотвратить образование уксусной кислоты и обеспечить равномерную экстракцию красящих и ароматических веществ.



Рис. 2. Процесс брожения

На пятый день, когда «шапка» начала оседать, а брожение стало менее бурным, приступаем к отделению сусла. Мезгу откидываем на дуршлаг, застеленный марлей, тщательно отжимаем. Полученный сок переливаем в чистую стеклянную бутылку, заполнив её примерно на две трети объёма, чтобы оставалось место для пены и углекислого газа (см. рис. 3). На бутылку был установлен гидрозатвор — специальное устройство, которое выпускает газ наружу, но не пропускает внутрь кислород и посторонние микроорганизмы. Как указывается в учебной литературе,

именно такой режим необходим для успешного завершения спиртового брожения [7,8].



Рис. 3. Снятие вина с осадка

Бутыль с гидрозатвором переносим в тёмное место с температурой около 18-20°C. Процесс тихого брожения длился примерно 45 дней. Можно было наблюдать за выделением газа. Когда прекратился процесс выделения газа, вино заметно посветлело, на дне образовался плотный слой осадка. Пришло время фильтровать вино. С помощью марли переливаем молодое вино в чистую сухую бутылку. Процедуру снятия с осадка повторяем дважды с интервалом в две недели, пока вино не стало полностью прозрачным.

Оценка готового вина проводилась двумя способами: органолептически и с помощью качественной химической реакции на этанол.

Органолептический анализ выполнялся по методике ГОСТ 32051-2013 [1]. Внешний вид: прозрачное, рубинового цвета, без осадка. Аромат: яркий, сортовой, с фруктово-ягодными тонами и лёгкой земляничной нотой. Вкус: гармоничный.

Химическое подтверждение наличия этанола проведено с помощью реакции окисления оксидом меди (II). Медную проволоку прокаливаем в пламени горелки до почернения (образование CuO), затем раскалённую спираль опускаем в пробирку с небольшим количеством вина. Чёрный налёт на проволоке исчез, поверхность меди стала блестящей, и появился характерный запах уксусного альдегида (напоминающий яблоко). Это доказывает наличие этанола, который окислился до ацетальдегида. Уравнение реакции:



Проведённый опыт наглядно подтверждает присутствие этилового спирта в готовом продукте

Для оценки качества полученного продукта сопоставляем его характеристики с описаниями вина прошлых лет. Сравнение проводилось по трём ключевым параметрам: цвет, аромат и вкус.

По цвету вина получились насыщенными рубиновыми. Аромат оказался фруктово-ягодным с отчётливой земляничной нотой. Вкус вышел гармоничным, умеренно кислым и мягким, без резкости.

Таким образом, анализ показал полное соответствие полученного продукта семейному образцу. Это подтверждает, что данный рецепт позволяет стабильно воспроизводить вино с заданными характеристиками.

На протяжении всего процесса фиксировался «Дневник винодела», куда записывались все наблюдения и результаты замеров. Это позволило не только контролировать ход процессов, но и создать объективную картину рождения вина. Пример записей представлен в таблице:

Таблица. Результаты исследований

Дата	Этап	Температура	Наблюдение
21.12	Дробление	22°C	Ягоды сочные, ароматные. Сока много.
23.12	Брожение на мезге	24°C	Появился запах брожения, на поверхности начал образовываться слой пены.
25.12	Брожение на мезге	23°C	«Шапка» поднялась, перемешивала 4 раза. Запах стал более интенсивным, винным.
28.12	Снятие с мезги	21°C	Сусло отделено, перелито в бутыль под гидрозатвор. Цвет насыщенный, рубиновый.
1.01	Тихое брожение	19°C	Гидрозатвор активно булькает, вино мутноватое.
0.02	Тихое брожение	18°C	Бульканье почти прекратилось, вино значительно посветлело.
7.02	Первое снятие с осадка	18°C	Вино прозрачное, осадок плотный. Перелил в чистую бутыль.

Семейный рецепт содержит логичное технологическое ядро. Каждый этап имеет научное обоснование — от оптимальной температуры для работы дрожжей до необходимости сохранять целостность косточек при дроблении. Проведённая качественная реакция с оксидом меди (II) наглядно доказала наличие этанола в готовом продукте, а органолептический анализ по ГОСТ 32051-2013 подтвердил соответствие полученного вина описаниям прошлых лет.

Главный результат проекта — не только бутылка вина, но и сохранённое для будущих поколений семейное наследие. Все материалы сохранены, что гарантирует их передачу и возможность воспроизведения рецепта спустя годы.

Таким образом, проект выполнил свою главную миссию: превратил устную традицию в сохранённую технологию, оставляя при этом её душу и семейную уникальность. Теперь искусство домашнего виноделия в нашей семье останется навсегда.

Список литературы

1. ГОСТ 32051-2013. Продукция винодельческая. Методы органолептического анализа. — М.: Стандартиформ, 2014.
2. Кишковский З.Н., Мержаниан А.А. Технология вина. — М.: Пищевая промышленность, 1984. — 352 с.
3. Родопуло А.К. Биохимия виноделия. — М.: Пищевая промышленность, 1971. — 376 с.
4. Саркисян А. О вине: главная книга дегустатора. — М.: Эксмо, 2020. — 256 с.
5. Скрипников Ю.С. Технология переработки плодов и ягод. — М.: Агропромиздат, 1988. — 287 с.
6. Фертман Г.И., Шойхет М.И. Химия и технология бродильных производств. — М.: Пищевая промышленность, 1976. — 336 с.
7. Черноусов И.Я. Домашнее виноделие: секреты традиционных рецептов // Виноделие и виноградарство. — 2021. — № 3. — С. 45-48.
8. Шольц-Куликов Е.П. Виноградные вина: технология домашнего приготовления. — Ростов н/Д: Феникс, 2019. — 158 с.

© Атарская И.В., Ишмуратова Г.И. 2026

УДК 547.917

ОСОБЕННОСТИ РАСКРЫТИЯ 1,6-АНГИДРОМОСТИКА ГИДРОКСИПРОИЗВОДНОГО ЛЕВОГЛЮКОЗЕНОНА ПРОПАНДИТИОЛОМ

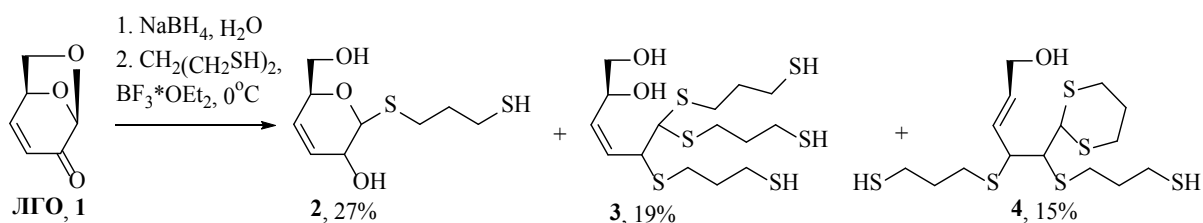
Ахметдинова Н.П.¹, Салихов Ш.М.¹, Файзуллина Л.Х.^{1,2}

¹Уфимский институт химии УФИЦ РАН, Уфа, Россия,

²ГБНУ «Академия наук Республики Башкортостан», Уфа, Россия

Левоглюкозенон [1,6-ангидро-3,4-дидезокси- β -D-пираноз-3-ен-2-он] (ЛГО) – енон углеводной природы, получаемый кислотным пиролизом целлюлозы, является ценным хиральным строительным блоком для природных и синтетических биологически активных соединений, включая простагландины, терпеноиды, стероиды, карбануклеозиды [1-3]. Учитывая доступность и высокий синтетический потенциал ЛГО, нам представлялось интересным изучение реакции тиолиза его гидроксипроизводного и выход к ациклическим хиральным тиопроизводным (Схема 1).

Схема 1



Для синтезированных производных **2-4** были проведены биологические испытания по оценке их противогрибковой активности. Тиопроизводные **2, 3** оказывали фунгистатическое действие на *Rhizoctonia solani* и подавляли рост *Bipolaris sorokiniana* в зоне максимальной концентрации вещества, однако в концентрации 0.5% не влияли на рост *Fusarium oxysporum*. Тиопроизводное **4** в концентрации 0.5% полностью подавляло рост *R. solani*, оказывало фунгистатическое действие, выраженное в ингибировании роста *B. sorokiniana* и *F. oxysporum*. Фунгистатическая активность была изучена *in vitro* методом диффузии в агар в лаборатории микробиологии УФИБ УФИЦ РАН.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Химия» УФИХ РАН и РЦКП «Агидель» УФИЦ РАН. Работа выполнена по теме госзадания № 125020601627-6.

Список литературы

1. Camp J.E., Greatrex B.W. Levoglucosenone: Bio-Based Platform for DrugDiscovery. *Front. Chem.*, 2022, 10, 902239. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.902239>

2. Comba M.B., Tsai Y., Sarotti A.M., Mangione M.I. et al. Levoglucosenone and its new applications: valorization of cellulose residues. *Eur. J. Org. Chem.*, 2018, 2018(5), 590-604. <https://doi.org/10.1002/ejoc.201701227>

3. Sarotti A.M., Zanardi M.C., Spanevello R.A. Recent applications of levoglucosenone as chiral synthon. *Curr. Org. Synth.*, 2012, 9(4), 439-459. <https://doi.org/10.2174/157017912802651401>

©Ахметдинова Н.П., Салихов Ш.М., Файзуллина Л.Х., 2026

УДК 621.9.02:667.63

НОВЫЙ ПОЛИМЕРНЫЙ ПРОДУКТ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Ахметшин К.В., Глазырин А.Б.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

На российских предприятиях металлообработки остро стоит проблема защиты режущего инструмента от повреждений при транспортировке и хранении, а также от коррозии. Традиционные методы защиты (термообработка, химическая обработка, неорганические покрытия) имеют ограничения, высокую стоимость и сложность нанесения.

Импортные полимерные покрытия, которые ранее широко применялись, стали недоступны. Поэтому актуальной проблемой стало создание отечественного полимерного продукта, аналогичного по свойствам импортным материалам, на основе которого можно получать

защитные покрытия металлических изделий с требуемыми характеристиками [1].

При разработке состава полимерного продукта в качестве основы был использован термопластичный полимер на основе модифицированной целлюлозы. Была изучена совместимость модифицированной целлюлозы с различными пластифицирующими добавками и маслами. В результате определен оптимальный состав полимерного продукта, на основе которого можно получать покрытия по металлу аналогичные по свойствам импортному материалу.

Была проведена сравнительная оценка свойств разработанной полимерной композиции с продуктом компании CROCELL super SH25 (Англия). Данный продукт представляет собой твердую, полупрозрачную воскоподобную массу с желтоватым оттенком, обладает невысокой прочностью (легко режется), эластичностью. Плотность продукта составляет $1,05 \text{ г/см}^3$, температура плавления 105°C .

Сравнительная оценка проводилась по следующим показателям:

- температура каплепадения, характеризующая температуру размягчения продукта, перехода его в жидкое состояние;
- температура начала разложения (T_n), соответствующая началу снижения массы продукта при нагревании, определяющая его термостойкость;
- твердость по Шору А, характеризующая жесткость и механическую прочность полимерного покрытия.

Проведенная оценка свойств образцов показала, что разработанный продукт обладает большей твердостью (40-41 ед.) по сравнению с SH25 (2,5-3 ед.) и характеризуется более низкой температурой каплепадения. По термической устойчивости оба продукта имеют близкие характеристики ($T_n=178^\circ\text{C}$).

Разработанный термопластичный полимерный продукт обеспечивает получение прозрачного покрытия, которое по сравнению с SH25 обладает более высокой прочностью и эластичностью.

Список литературы

1. Глазырин А.Б. Разработка защитного полимерного покрытия для металлорежущего инструмента / Материалы XII Международной молодежной научно-практической конференции "Актуальные вопросы современного материаловедения". Уфа: РИЦ УУНиТ, 2025. С. 33.

© Ахметшин К.В., Глазырин А.Б., 2026

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА И АГРОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАНОКОМПОЗИТОВ СЕРА/КАРБОНАТ КАЛЬЦИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ СИСТЕМ

Ахметшин Б.С., Фаздалова И.Р., Файзрахманов И.С.,
Насретдинов Д.Р., Ахметшина А.С.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Препараты на основе серы традиционно играют важнейшую роль в защите растений и биостимуляции сельскохозяйственных культур. Однако классические формы, например, смачивающиеся порошки микронной серы или известково-серный отвар (полисульфид кальция), имеют ряд серьезных недостатков. К ним относятся необходимость применения высоких рабочих доз, низкая биодоступность действующего вещества, вероятность фитотоксичности, а также накопление балластных компонентов в почвенном горизонте [1, 2]. На фоне активного развития концепции «зеленой» агрохимии и органического земледелия особую актуальность приобретает наноструктурирование активных веществ. Этот подход позволяет за счет увеличения удельной поверхности и изменения поверхностных свойств существенно повысить биологическую эффективность при одновременном снижении экологической нагрузки [3]. Данное исследование призвано провести всесторонний анализ синтеза, физико-химической идентификации и агрономической апробации наноконпозитов сера/карбонат кальция, получаемых из полисульфидных систем, для выявления причинно-следственных связей между параметрами наноструктуры и их фунгицидно-стимулирующими свойствами в полевых условиях.

Синтез наноконпозитов проводили методом соосаждения путем барботажа диоксида углерода через водные растворы полисульфидов щелочноземельных металлов (MeS_x , где $\text{Me} = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$; $x \geq 3$) при температуре 25 ± 1 °C. Для кинетической стабилизации дисперсной системы в реакционную среду добавляли 0,5 мас. % неионогенного поверхностно-активного вещества (неонол). Динамику изменения размерного распределения частиц отслеживали *in situ* с помощью лазерной дифракции (прибор SALD 7101, Shimadzu). Морфологические особенности и топографию поверхности изучали методом атомно-силовой микроскопии (Solver PRO-M), а кристаллическую структуру определяли посредством рентгенофазового анализа (Rigaku Ultima IV) и ИК-Фурье-спектроскопии (Vector 22). Гидрофобные свойства оценивали путем измерения статического краевого угла смачивания на поверхности спрессованных порошков.

Фунгицидную активность оценивали *in vitro* по методу минимальной ингибирующей концентрации (МИК) на твердой питательной среде Сабуро в отношении штаммов фитопатогенных грибов *Alternaria alternata* и

Aspergillus niger. Биостимулирующее действие проверяли при проращивании семян пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в водных дисперсиях с добавлением 8 мл/л глицерина, выполняющего роль осморегулятора и ко-стимулятора. Линейные размеры побегов и корневой системы фиксировали спустя 72 часа (объем выборки $n=150$, статистическая ошибка 3-4 %). Полевые эксперименты были организованы в 2016-2017 годах на культурах томата (сорт Андромеда F₁) и винограда (сорт Юбилейный) по схеме рендомизированных блоков в четырех повторностях. Изучали различные варианты применения полисульфида кальция: предпосевную обработку почвы или лунок (5 %, 30 л/га), вегетационные опрыскивания (2 %) и «искореняющее» весеннее опрыскивание (10 % до распускания почек или до цветения). Учет степени поражения проводили визуально по 5-балльной шкале с последующим расчетом распространенности и индекса развития болезни. Статистическую обработку результатов выполняли методом дисперсионного анализа, достоверность различий подтверждалась при уровне значимости $p < 0,05$ [4, 5]. В ходе соосаждения на начальном этапе образуются монодисперсные наночастицы серы (20 нм) и карбонатов щелочноземельных металлов (25 нм). При отсутствии стабилизаторов система подвергается двухстадийной агрегации: сначала формируются рыхлые субмикронные конгломераты размером 50-300 нм, которые затем консолидируются в микронные фракции (10-170 мкм). Добавление неолоа радикально меняет кинетику этого процесса. Молекулы ПАВ адсорбируются на поверхности зарождающихся частиц, образуя полиэтиленгликолевый слой. Этот слой создает комбинированный стерический и электростатический барьер, предотвращающий коагуляцию на протяжении более 10 часов. Данные РФА и ИК-спектроскопии подтверждают сохранение орторомбической сингонии α -S₈ для серы, а также кристаллизацию карбонатов в термодинамически устойчивых полиморфных модификациях (кальцит, виверит, стронцианит). Примечательно, что кальцит, будучи гидрофильным в макроскопическом состоянии, приобретает ярко выраженные гидрофобные свойства (краевой угол $147^\circ \pm 3^\circ$) благодаря ориентированной адсорбции органического лиганда. Это существенно улучшает диспергируемость препарата, его адгезию к листовым пластинкам и совместимость с растительными тканями [6].

Лабораторные фунгицидные тесты *in vitro* продемонстрировали 12,5 кратное преимущество наносеры перед ее микронными аналогами. Полное ингибирование мицелиального роста *A. alternata* и *A. niger* достигается при концентрации 20 мг/мл для нанодисперсий, тогда как для традиционных смачивающихся порошков требуется 250 мг/мл. Карбонатная фаза сама по себе не обладает антигрибковой активностью и выступает в роли инертного структурного матрикса. Тем не менее, в составе композита S/CaCO₃ фиксируется выраженный синергетический эффект, который объясняется улучшенной адгезией и пролонгированным высвобождением

серы непосредственно на поверхности фитопатогенов [7]. Механизм фунгицидного действия обусловлен генерацией активных форм кислорода в приклеточной зоне, ингибированием ферментативных систем, отвечающих за синтез эргостерола и хитина, а также физическим нарушением целостности мембран за счет наноразмерного проникновения [8]. Полевые эксперименты подтвердили высокую агрономическую результативность оптимизированных схем применения. На томатах комбинация предпосадочной обработки лунок 5 %-ным раствором полисульфида кальция и двукратного вегетационного опрыскивания 2 %-ным раствором (до цветения и в фазу завязывания) обеспечила полное подавление развития серой и корневой гнилей (0 % поражения). Кроме того, частота проявления вершинной гнили плодов снизилась на 60–75 % за счет нормализации кальциевого питания и укрепления клеточных стенок. На виноградниках применение «искореняющего» опрыскивания 10 %-ным раствором ранней весной в сочетании с двумя вегетационными обработками 2 %-ным раствором (до цветения и после появления ягод) позволило снизить комплексное поражение оидиумом и милдью до уровня менее 1 %, что соответствует биологической эффективности не менее 97 % [11]. Важно подчеркнуть, что сера функционирует не только как контактный фунгицид, но и как макроэлемент питания. Она стимулирует биосинтез серосодержащих аминокислот, фитоалексинов и антиоксидантных ферментов, что повышает системную резистентность растений к биотическим и абиотическим стресс-факторам [10, 12].

Испытания биостимулирующих свойств на пшенице показали, что нанокompозит S/CaCO₃ при концентрации 25 мг/л с добавлением глицерина увеличивает длину побегов на 55 %, а первичных корней - на 45 % по сравнению с контролем. Глицерин модифицирует поверхностное натяжение водной дисперсии, облегчая смачивание семенной оболочки и проникновение наночастиц через апопластические пути к меристематическим тканям. В свою очередь, карбонат обеспечивает буферную стабилизацию pH ризосферы, улучшая доступность макроэлементов и создавая благоприятные условия для корневого питания [13]. Микронные аналоги при аналогичных дозировках не проявляют стимулирующих свойств, а при превышении концентрации вызывают осмотический стресс и механическое повреждение клеточных структур, что подчеркивает критическую важность наноразмерности для обеспечения биодоступности и физиологической совместимости. [14]

Проведенное всестороннее исследование подтвердило высокую эффективность нанокompозитов сера/карбонат кальция, синтезированных из полисульфидных систем, в качестве многофункциональных агрохимикатов нового поколения. Установлено, что наноструктурирование обеспечивает 12,5-кратное повышение фунгицидной активности по сравнению с традиционными формами, а комбинация с карбонатом кальция и глицерином демонстрирует выраженный синергетический

фитостимулирующий эффект. Полевые испытания на томате и винограде обосновали научно-агротехнические схемы применения: предпосадочная обработка почвы 5 %-ным раствором в сочетании с вегетационными опрыскиваниями 2 %-ным раствором для овощных культур, а также «искоряющее» весеннее опрыскивание 10 %-ным раствором с последующими вегетационными обработками для виноградников. Данные подходы обеспечивают биологическую эффективность на уровне ≥ 95 %, позволяют полностью контролировать развитие грибных заболеваний и повышать урожайность без применения синтетических пестицидов. Полученные результаты расширяют фундаментальные основы применения серосодержащих наноматериалов в органическом земледелии и создают технологическую базу для разработки экологически безопасных препаратов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-26-00767)

Список литературы

1. Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Массалимов Б.И., Уракаев Ф.Х. Кинетика роста наночастиц серы при их осаждении из водных растворов полисульфида кальция // Журнал физической химии. 2024. Т. 98. № 1. С. 124–140.
2. Уракаев Ф.Х., Булавченко А.И., Уралбеков Б.М. и др. Наноразмерная сера: методы синтеза и биологическая активность // Коллоид. журн. 2016. Т. 78. № 2. С. 193–201.
3. Boyjoo Y., Pareek V.K., Liu J. Synthesis and applications of nano- CaCO_3 // J. Mater. Chem. A. 2014. V. 2. P. 14270–14288.
4. Массалимов И.А., Давлетов Р.Д., Гайфуллин Р.Р. и др. Наноразмерная сера – эффективный фунгицид и стимулятор роста пшеницы // Вестник защиты растений. 2013. № 4. С. 61–63.
5. Du L., Wang Y., Luo G. Hydrophobic modification of CaCO_3 nanoparticles // Particuology. 2013. V. 11. P. 421–427.
6. Wu S., Cao H., Yin S. et al. Adsorption behavior of nonionic surfactants on inorganic nanoparticles // Inorg. Chem. 2009. V. 48. P. 10326–10334.
7. Массалимов И.А., Ярмухаметова И.А., Ахметшин Б.С., Самсонов М.Р. Фунгицидные свойства полисульфида кальция // Защита и карантин растений. 2018. № 12. С. 27–28.
8. Мельников Н.Н. Пестициды. Химия, технология и применение. М.: Химия, 1987. 640 с.
9. Кашкин П.Н., Лисин В.В. Практическое руководство по медицинской микологии. Л.: Медицина, 1983. 312 с.
10. Продукция органического производства. Правила производства, хранения, транспортирования: ГОСТ 33980-2016. М.: Стандартинформ, 2015. 79 с.

11. Массалимов И.А., Гайфуллин Р.Р. Удобрение, содержащее высокодисперсную серу, и способ обработки ею пшеницы: заявка на евразийский патент № 2016000028 от 15.04.2016.

12. Массалимов И.А., Абдракипова Л.Ф., Мустафин А.Г. Влияние органических добавок на ростовые процессы в нанодисперсиях // Нанотехника. 2010. № 1. С. 66–71.

13. Yugandhar P., Savithramma N. Effect of nanoparticles on seed germination // Int. J. Adv. Res. 2013. V. 1. P. 89–95.

14. Altavilla C., Ciliberto E. Inorganic Nanoparticles: Synthesis, Applications, and Perspectives. Boca Raton: CRC Press, 2011. 312 p.

© Ахметшин Б.С., Фаздалова И.Р., Файзрахманов И.С.,
Насретдинов Д.Р., Ахметшина А.С., 2026

УДК 661.66.1

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СЫРЬЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОКСА С РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРОЙ

Бейлина Н.Ю.

*Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова
РТУ МИРЭА, г. Москва, Россия*

Введение. В производстве искусственных углеродных материалов из коксо-пековых композиций качество готового продукта в основном определяется структурой и свойствами коксов-наполнителей, режимами их переработки при прокаливании, дроблении и размоле, смешивании и формовании, а также термической обработки при спекании и в процессе графитации. Наиболее востребованными в высокотехнологичных областях промышленности являются графитированные электроды из игольчатого кокса и высокопрочные и плотные графиты конструкционного назначения из изотропных коксов. Эти материалы являются импортозамещающими, поэтому особое внимание в настоящее время уделяется получению для их изготовления малосернистых и низкозольных коксов анизотропной игольчатой структуры и коксов изотропного качества.

Методы. В работе приведены результаты ранее проведенных исследований коксов различной структуры и свойств, полученных из разных сырьевых источников: нефтяных, каменноугольных и сланцевых смол. Работы проводились на лабораторных и промышленных установках. При подготовке сырья для получения коксов разной структуры и качества наряду с прямогонным сырьем использовали продукты его окисления, гидрирования (гидроочистки сернистого сырья), модифицирования добавками пиролизных смол, масляных экстрактов, добавками ультрадисперсных порошков коксов. Коксование подготовленного сырья проводили в лабораторном реакторе до конечной температуры 900 °С, в промышленных реакторах при 540 °С, с последующим доведением до 900

°С для определения микроструктуры итогового продукта, и до 1300 °С для определения действительной плотности в соответствии с ГОСТ 22898-78 [1-4]. На основании лабораторных исследований были выбраны сырьевые источники для получения промышленных партий коксов и проведены их испытания в лабораторных и промышленных условиях.

Результаты. Из прямогонных остатков атмосферной дистилляции нефтяных и сланцевых смол получают рядовые коксы с плотностью 2,12-2,13 г/см³ и оценкой микроструктуры по ГОСТ 26132-84 Б ср. = 4,5-4,6 баллов. Окисление сланцевой смолы и гудронов приводит к снижению действительной плотности кокса до 2,04-2,08 г/см³, снижению оценки микроструктуры до Б ср. = 2,0-2,5 балла, т.е. кокс приобретает изотропную структуру [5].

Совместными работами с О.Ф. Глаголевой [6] были исследованы тяжелые газойли каталитического крекинга (ТГКК) с различными добавками. При введении в сырьевую смесь 10 % масляных экстрактов из нее в дальнейшем получен максимальный выход малосернистого и малозольного кокса улучшенной структуры с высокой действительной плотностью (2,14-2,15 г/см³) с повышенным содержанием анизотропных структурных составляющих. Положительное влияние тяжелого газойля каталитического крекинга на совершенствование структуры кокса подтвердилось сегодня на Омском НПЗ, при промышленном выпуске игольчатого кокса. Смешение ТГКК и тяжелой пиролизной смолы (ТСП) снижает содержание в коксе серы, но ухудшает совершенство его структуры в сравнении с коксом из ТГКК с добавкой масляных экстрактов или без добавок. Из чистой ТСП можно получить кокс рядовой с низким выходом, с плотностью 2,12 г/см³, но при введении в нее до 10 % сажи кокс получается изотропный с оценкой микроструктуры 1,6-1,9 баллов. Наибольший выход кокса из прямогонного сырья можно получить из гудрона. Совместными работами с А.В. Петровым [7,8] показано, что добавка в гудрон перед коксованием тонкодисперсного порошка изотропного кокса до 10 % масс. приводит к снижению действительной плотности кокса из гудрона от 2,13 до 2,06 г/см³, оказывая существенное влияние и на морфологию образующегося кокса. Средний балл кокса в итоге снижается от 4 баллов до 2,6-3,0 в зависимости от концентрации добавки в сырье. Также была показана возможность снижения в коксе содержания серы на 11-25 % абс. путем введения в гудрон добавки тонкодисперсного кокса. Введение тонкодисперсной добавки кокса также способствует повышению выхода кокса из гудрона на 24-45 % абс.

Окисление каменноугольной и сланцевой смол кислородом воздуха позволяет в зависимости от режимов и концентрации окислителя получить в сырье коксования различное содержание нерастворимых в толуоле веществ, влияющих в свою очередь, на структуру пекового и сланцевого (смоляного) коксов, позволяя влиять на степень его изотропии. Для получения анизотропного кокса из каменноугольной смолы желательно

удалить нерастворимые в хиолине и толуоле вещества, препятствующие возникновению анизотропных структур в процессе пиролиза. Весьма перспективным направлением, с нашей точки зрения, следует считать гидрогенизацию каменноугольной смолы и других сернистых углеводородов в присутствии наноразмерного катализатора. На примере каменноугольной смолы работами совместно с А.А. Озеренко, С.Н. Антонюком и др. [9]. было установлено, что, варьируя соотношение водорода к исходному сырью (коксохимической смоле), давление и массовую долю донора водорода, можно получить по единой технологической цепочке коксы различной структуры, целенаправленно изменять в них распределение структурных составляющих и среднего балла микроструктуры при получении кокса. Таким же образом из нефтяных смол возможно получать сырье для игольчатого, изотропного или рядового коксов, используемых для рядовых и крупногабаритных графитированных электродов, графитов конструкционного назначения, анодов и катодов электролизных производств.

Прекращение производства пиролизного изотропного кокса марок КНПС-СМ и КНПС-КМ в 1992 г заставило ряд производителей вопреки требованиям стандарта - ГОСТ 22898-78 (таблица 1а) применять в производстве конструкционных графитов коксы рядовой структуры марок КНПЭ, КНГ и КЗА, не пригодные для производства графитов конструкционного назначения, что привело к снижению прочности готового материала на 25- 30 %, а в ряде случаев и к потере технологии некоторых марок графитов. Причиной сложившейся ситуации явились принципиальные различия в процессах дробления-размола коксов разной структуры, их смачивания и взаимодействия со связующим – каменноугольным пеком и, как следствие, произошли существенные изменения в процессах обжига-спекания и графитации, вызванные различиями в усадках и потере массы при термической обработке, потерями прочности кокса из связующего. В совместных работах с А. А. Терентьевым, Е. Л. Мизитовым, И. А. Бубненковым [10,11] были подробно исследованы стадии переработки коксов различной структуры и обоснована необходимость использования именно изотропного кокса в производстве высокопрочных и плотных мелко- и среднезернистых графитов. Коксы неизотропной структуры (рядовые) в сочетании с пеками с повышенной температурой размягчения при низком содержании серы и низкой зольности пригодны для получения анодов для электролизеров алюминиевых заводов, электродов мелких сечений, а игольчатые коксы предназначены для изготовления графитированных электродов крупных сечений, работающих при высоких токовых нагрузках.

Заключение. Из-за существенного сокращения и постепенного прекращения выпуска малосернистого и низкозольного пекового кокса многими коксохимическими предприятиями вновь остро встает вопрос о необходимости поиска новых источников сырья и способов производства

изотропного кокса, преимущественно в нефтяной отрасли. Представленные в данной работе обобщающие результаты многолетних работ по подготовке нефтяного, сланцевого и каменноугольного сырья для получения коксов, востребованных в производстве углеродной продукции, могут быть полезны как для потенциальных изготовителей кокса, так и для его потребителей.

Список литературы

1. Бейлина Н. Ю., Остронов Б.Г., Авдеенко М. А. Выбор новых сырьевых источников для производства конструкционных графитов. Конверсия в машиностроении. 2003. № 3. С. 95.
2. Бейлина Н. Ю., Заманов В.В., Кричко А. А., Озеренко А. А., Озеренко Е.А., Фросин С. Б. Новая концепция переработки каменноугольной смолы. Химия твердого топлива. 2006. № 5. С. 22–29.
3. Лаврухин С. П., Бейлина Н. Ю. Смоляной (сланцевый) кокс и перспективы его применения в производстве конструкционных углеродных материалов. Цветные металлы. 2001. № 5. С. 40.
4. Бейлина Н. Ю. Проблемы сырья для конструкционных графитов атомно-энергетического комплекса. Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология. 2010. Т.53. №10. С.107–115
5. Бейлина Н. Ю., Петрович Н. И., Селезнев А. Н., Свиридов А. А. Получение и промышленное использование коксов изотропной структуры на основе сланцевых смол. Химия твердого топлива. 2005. № 4. С. 54–60.
6. Бейлина Н. Ю., Глаголева О. Ф. Опыт использования смесового сырья для получения коксов улучшенной структуры. Нефтепереработка и нефтехимия. 2020. № 5. С. 6–10.
7. Петров А. В., Бейлина Н. Ю. Получение коксов с пониженным содержанием серы из прямогонного гудрона и их применение для производства искусственных графитов Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология. 2011. Т. 54. № 7. С. 95–97.
8. Петров А. В., Чеблакова Е. Г., Бейлина Н. Ю. Некоторые аспекты механизма удаления серы в процессе коксования прямогонного нефтяного сырья в присутствии углеродных добавок. Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология. 2012. Т. 55. № 6. С. 55–58.
9. Бейлина Н. Ю., Добрякова Н.Н., Озеренко А.А., Антонюк С. Н., Никишин Д. В. Влияние условий переработки углеводородного сырья на структуру и свойства электродного кокса и графита на его основе. Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология. 2025. Т. 68. № 6. С. 106–116.

10. Бейлина Н. Ю., Мизитов Е. Л., Бубненко И. А. Влияние природы и степени анизотропии коксов на их взаимодействие с каменноугольным пеком и его компонентами. Химия твердого топлива. 2006. № 1. С. 49–56.

11. Бейлина Н. Ю., Петров А. В., Терентьев А. А. Физико-химические особенности выбора сырьевых источников для производства углеродных материалов. В сборнике: Научно-исследовательскому институту конструкционных материалов на основе графита - 60 лет. АО «НИИграфит». Москва, 2020. С. 7–18.

© Бейлина Н.Ю., 2026

УДК 665.777

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КАРБЕНОВ В СЫРЬЕ
ТЕРМОПОЛИКОНДЕНСАЦИИ НА ВЫХОД И СВОЙСТВА
МЕЗОФАЗНОГО ПИРОЛИЗНОГО ПЕКА

Белов М.К., Мухамедзянова А.А.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Для модернизации промышленности России необходимы современные отечественные термо- и химические стойкие, прочные и легкие углеграфитовые материалы и качественное сырье для их получения. В настоящее время в РФ в качестве прекурсоров углеродных конструкционных материалов используют сырье каменноугольного и сланцевого происхождения [1]. Однако существует дефицит от 50 до 100% качественного отечественного сырья. Кроме того ужесточение требований к санитарно-гигиеническим условиям труда при получении пека и переработке пеко-коксовых композиций, к качеству углеродных материалов предполагают переход технологий на более доступные нефтяные пеки с низким содержанием канцерогенных веществ [2].

За рубежом около 30% углеродных материалов получают на основе остатков переработки нефти [3].

Замена каменноугольных пеков на нефтяные приводит к сокращению технологического цикла, экономии тепло- и энергоресурсов, улучшению экологической обстановки на заводах-производителях углеродной продукции. Это обусловлено тем, что нефтяные пеки отличаются от каменноугольных большей реакционной способностью в термохимических процессах и меньшим содержанием канцерогенных соединений. В России промышленного производства нефтяных пеков нет, несмотря на огромные запасы различных остаточных продуктов нефтепереработки и отсутствие устойчивого обеспечения сырьем для получения углеродных волокон и микросфер, активированного угля, игольчатого кокса, связующего и т.д. [4]

Основным сырьем для получения пеков являются остаточные продукты переработки нефти с высокими значениями плотности и

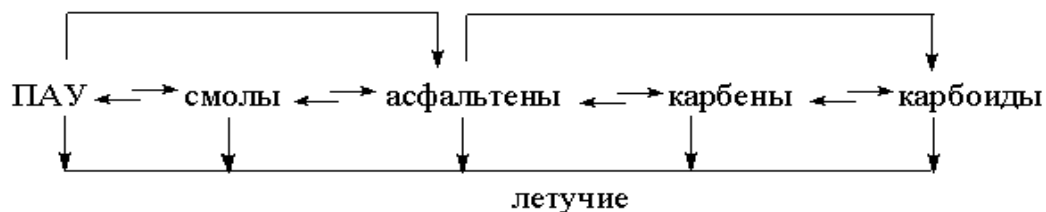
ароматичности и малым содержанием серы. Ресурсы малосернистых нефтяных остатков весьма ограничены из-за высокой потребности в сырье подобного качества для коксования.

Наиболее распространенным способом получения нефтяных пеков является термолиз высокоароматичных продуктов нефтепереработки [5].

Известно, что при термообработке нефтяного остаточного сырья с высокой ароматичностью кинетику накопления групповых компонентов пекового остатка можно описать последовательными превращениями компонентов реакционной массы [6] по схеме 1. При увеличении температуры и продолжительности термолиза наблюдается изменение группового состава карбонизирующейся массы в сторону накопления высокомолекулярных компонентов, возрастание плотности, коксуемости, температуры размягчения и ароматичности продуктов. При термообработке нефтяного сырья после достижения некоторой предельной концентрации асфальтенов в реакционной массе начинается коксообразование.

При карбонизации ТСП ароматизированные масла и смолы (однофазная жидкая система) сперва образуют жидкую микрогетерогенную дисперсную систему, дисперсная фаза которой представлена ассоциатами асфальтенов, а дисперсионная среда – мальтенами. Дальнейшая термообработка реакционной массы способствует отщеплению алифатических радикалов от ароматических колец, снижению стерических ограничений для взаимодействия между полиароматическими системами, увеличению концентрации неспаренных электронов, усилению межмолекулярного взаимодействия и зарождению жидкокристаллической фазы – уложенных в параллельные слои ассоциаты полиароматических молекул карбенов, высокомолекулярных асфальтенов и в меньшей степени смол.

Схема 1



В качестве сырья для получения анизотропного пека выбрана тяжелая смола пиролиза, побочный продукт производства этилена. Смола содержала значительное количество полициклоароматические соединений (52,05 % масс.) и асфальтенов (31,30 % масс.) и характеризовалась высокой коксуемостью (19,05 % масс.) (таблица 1). Плотность, коксуемость, выход летучих, температуру застывания и фракционный состав ТСП определяли стандартными методами анализа нефтепродуктов. Групповой состав ТСП определяли по методике ГУП НИИ Нефтехимпереработки РБ: ТСП

разделяли на парафино-нафтеновую, моно-, би- и полициклические ароматические углеводороды, смолы и асфальтены.

На следующем этапе подготовленную ТСП подвергали двухстадийной термополиконденсации. На первой стадии проводили термообработку ТСП при 360 °С и атмосферном давлении в течение 90 мин. с выделением летучих в значительном количестве. Вторая стадия заключалась в термообработке пекового остатка при температуре 320°С и остаточном давлении 5-10 мм рт. ст. для отгона низкомолекулярных компонентов и получением изотропного пека (ИП) с выходом 54,2 % масс. (таблица 2)

Таблица 1

Физико-химические свойства тяжелой смолы пиролиза, очищенной от высокомолекулярных асфальтенов, карбенов и карбоидов

Показатель	Очищенная ТСП
Плотность, г/см ³	1113
Коксуемость, % масс.	19,05
Выход летучих, % масс.	86,47
Температура застывания, °С	- 2
Фракционный состав н.к., °С	120°С
выкипает, % об.	
до 250 °С	10
350 °С	55
360 °С	60
Групповой углеводородный состав, % масс.	
парафино-нафтеновые	-
ароматические	-
моноциклические	-
бициклические	9,83
полициклические смолы	52,05
толуольные	3,24
спирто-толуольные	3,58
асфальтены	31,30

Карбены выделяли из изотропного пиролизного пека (ИП) с температурой размягчения 188 °С (таблица 2), Для выделения карбенов, необходимых в этом эксперименте, из пека толуолом вымывали асфальтены и мальтены. Оставшиеся карбены и карбоиды обрабатывали α-метилнафталином. Растворенные карбены подвергали упариванию до получения вязкой кашицы, позволяющей защитить карбены от контакта с воздухом и окисления. Кашицу карбенов в количестве 0,2 % масс добавляли в исходную смолу пиролиза, тщательно перемешивали и проводили термообработку смеси. при температуре 280 °С в течение 30 часов. Карбены имели следующие физико-химические характеристики:

плотность 1,27 г/м³, молекулярная масса 571 у.е., содержание углерода С 92,8 и водорода Н 5,17 % масс. Карбены добавляли к ТСП в количестве 0,2 % масс.

Термообработку ТСП и смеси «ТСП + карбены» проводили на лабораторной установке термополиконденсации нефтяного остаточного сырья [7], полученные пеки направляли на анализ для определения стандартных показателей качества, определяющих их технологические свойства и направления дальнейшего использования: температуры размягчения, содержания мезофазы, группового и элементного состава.

Для определения группового состава – содержания мальтенов, асфальтенов и карбенов использовали растворители (ч.д.а.) толуол и изооктан. Оптическую текстуру анизотропных пеков изучали методом оптической микроскопии в поляризованном свете (поляризационный микроскоп «AxioLab Pol» (Carl Zeiss, Germany)).

Таблица 2

Физико-химические свойства изотропного пека из тяжелой смолы
пиролиза

Показатель	Изотропный пек из ТСП
Температура размягчения, °С	188
Элементный состав, % масс.	
С	93,9
Н	6,0
S + N + O (по остатку)	0,1
Групповой состав, % масс.	
мальтены (масла + смолы)	2,3
асфальтены	63,1
карбены	34,6

Элементный состав определяли на анализаторе РЕ 2400-II с точностью < 0,2 % масс. Принцип работы прибора основан на сжигании образца в кислородной среде при температуре до 1100 °С и определении летучих СО₂, Н₂, О₂ и N₂.

Для регистрации спектров электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) использовали стандартный спектрометр трехсантиметрового диапазона EMS (Bruker, Германия). Эксперимент проводили при параметрах, приведенных в таблице 2. В качестве стандартного образца применяли ДФПГ (дифенилпикрилгидразил).

Таблица 3

Параметры регистрации спектров электронного парамагнитного резонанса

Параметр	Значение
Температура	20 °С
Частота модуляции магнитного поля	100 кГц

При изучении влияния состава модельных смесей «ТСП + карбены» на скорость образования мезофазы установлено, что

- при добавлении к ТСП карбенов в количестве 0,2 % масс. содержание мезофазы в пеке возрастает на 0,5 % масс., индукционный период снижается на 5 %, при увеличении карбоидов и золы с 0,6 до 1,0 и 0,35 до 0,37 % масс., соответственно.

Таблица 4

Влияние содержания карбенов в сырье термолиза
на выход и свойства анизотропных пеков

Содержание карбенов, % масс	Выход пека, % масс на сырье	Индукционный период образования мезофазы, ксек	Содержание, % масс		
			мезофаза	карбоиды	зола
0	29,0	90,0	62,3	0,6	0,35
0,2	30,2	86,0	62,8	1,0	0,37

Следовательно, увеличение карбенов в сырье термообработки нецелесообразно и опыты с содержанием карбенов в исходной ТСП более 0,2 % масс. не проводили.

Список литературы

1. Маракушина Е.Н., Фризоргер В.К., Пингин В.В., Андрейков Е.И. Получение и промышленные испытания компаундного нефтекаменноугольного связующего в ОАО «РУСАЛ Красноярск» // Известия вузов. Metallургия цветных металлов. 2016. № 4. С. 17–22
2. Бейлина Н.Ю., Петрович Н.И., Селезнев А.Н. Перспективы получения новых видов кокса для искусственного графита на основе продуктов переработки сланца // Производство углеродной продукции. Проблемы обеспечения углеродистым сырьем: Сборник трудов. Выпуск I, М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2002. С. 129–140.
3. Машенцева И.А., Власова О.С. Анализ негативного воздействия на окружающую среду предприятий по производству алюминия // Инженерный вестник Дона: интернет-журнал 2017. № 1. URL: <http://indon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4031> (15.04.2018).
4. Хайрудинов И.Р., Тихонов А.А., Таушев В.В., Теляшев Э.Г. Современное состояние и перспективы развития термических процессов переработки нефтяного сырья. - Уфа: ГУП ИНХП РБ, 2015. - 287 с.
5. Мухамедзянова А.А., Ахметов А.Ф., Ихсанов И.А. Возможности получения мезофазы при термообработке различных видов углеводородного сырья // Химия и технология топлив и масел. 2023. №5 (639). С. 47-54
6. Гимаев Р.Н., Губайдуллин В.З., Стрижева Л.Е. и др. Кинетика образования углерода при термическом превращении нефтяного сырья в жидкой фазе // Химия твердого топлива. 1980. №4. С. 125-131.

7. Мухамедзянова А.А., Бейлина Н.Ю. и др. Влияние способа подготовки и технологического режима термообработки тяжелой смолы пиролиза на физико-химические свойства пеков. Сообщение 1. Выход пеков, температура размягчения, коксуемость, плотность, содержание асфальтенов // Кокс и химия. 2022. № 6. С. 14-19.

© Белов М.К., Мухамедзянова А.А., 2026

УДК 678.742.3

СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ЛЮМИНОФОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕНВИНИЛАЦЕТАТА

Белова А.Ю., Глазырин А.Б.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

В промышленности и в научных исследованиях сегодня широко применяют полимерные материалы, содержащих люминофоры различной химической природы. Их ключевое свойство состоит в преобразовании ультрафиолетового излучения в узкополосное люминесцентное свечение. На основе таких полимерных систем уже разработаны разные формы изделий: люминесцентные краски, полимерные пленки, ткани и нетканые материалы, декоративные элементы.

Для полимерных композитов, содержащих люминофоры, особенно важны такие параметры как высокая механическая прочность и стойкость к внешним воздействиям, в том числе к ультрафиолету, влаге и кислороду. Не менее существенным требованием является длительное сохранение работоспособности при минимальной утрате люминофорных характеристик материала [1,2].

Поэтому получение новых люминофорных материалов, которые обладают продолжительным послесвечением и длительное время сохраняют свои эксплуатационные свойства в атмосферных условиях, остается актуальной практической задачей.

Были получены образцы люминофорных материалов различного состава на основе этиленвинилацетата (ЭВА), содержащие фотолюминофоры на основе алюмината стронция, допированного оксидами европия и диспрозия.

Изучены физико-механические свойства образцов люминофорных ЭВА)-материалов. Механические характеристики полимерных материалов определяли при растяжении на универсальной испытательной машине «AGS-10kNX» (Shimadzu, Япония) согласно ГОСТ 34370-2017. Использовали образцы типа 1А, полученные путем вырубания из пластин.

При проведении испытаний были определены следующие физико-механические характеристики ЭВА-материалов: модуль упругости (E), прочность при разрыве (σ_p), относительное удлинение при разрыве (ϵ_p) и др.

Результаты испытаний показали, что физико-механические параметры полученных образцов зависят от марки используемого ЭВА и соответствуют следующим значениям: модуль упругости 73,4-81,9 Н/мм²; прочность при разрыве 8,9-21,5 Н/мм²; относительное удлинение при разрыве 265-493 %. Полученные полимерные композиции представляют собой мягкие и эластичные материалы с низкой твердостью - 69-80 ед. (по Шору А), обладающие характерным для люминофорных материалов пост-свечением.

Список литературы

1. Миндигулов И.Г., Глазырин А.Б. Полимерные люминофорные материалы на основе пластифицированного поливинилхлорида //Материалы XI Международной молодежной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современного материаловедения». Уфа: РИЦ УУНиТ, 2024. С. 147-148.

2. Белова А. Ю., Глазырин А. Б. Физико-механические свойства полимерных люминофорных материалов на основе ПВХ / Материалы XII Международной молодежной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современного материаловедения». Уфа: РИЦ УУНиТ, 2025. С. 15.

© Белова А.Ю., Глазырин А.Б., 2026

УДК 543.552.054.1

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРЕПАРАТОВ ТИМОЛОЛА С ПОМОЩЬЮ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ЭЛЕКТРОННЫЙ ЯЗЫК»

Булышева Е.О., Мадиярова Г.Б.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Глаукома считается одной из главных причин хронического ухудшения зрения и занимает третье место среди факторов, приводящих к необратимой слепоте в мире. Ключевым фактором риска утраты зрения служит повышенное внутриглазное давление. Тимолола малеат относится к неселективным β -адреноблокаторам, способным снижать выработку внутриглазной жидкости и внутриглазное давление. Препараты на основе тимолола выпускаются большим числом фармацевтических компаний, что делает контроль их качества особенно важным. В связи с этим, для экспрессной оценки качества данных лекарственных средств предлагается мультисенсорная вольтамперометрическая система типа «электронный язык» [1-8] на основе сенсоров с перекрестной чувствительностью. Такая система обеспечивает комплексный анализ химического состава раствора в реальном времени и его сопоставление с эталонным образцом. Разработанные сенсорные платформы открывают возможности для решения ряда аналитических задач: выявление фальсификатов и

препаратов с истекшим сроком годности, а также установление подлинности.

В настоящем исследовании представлена вольтамперометрическая система для идентификации производителей лекарственных форм, содержащих тимолол в качестве действующего вещества. Аналитическая система построена из трёх композитных сенсоров, модифицированных полиэлектролитным комплексом на основе хитозана и N-сукцинил-хитозана (ПЭК), а также цеолитами структурных типов FAU, AFI и CHA. В качестве образцов для анализа выступили препараты семи разных производителей: Окупрес-Е («Кадила Фармасьютикалз Лимитед», Индия), Тимолол Реневал («ПФК Обновление», Россия), Тимолол Солофарм («Гротекс», Россия), Окумед («Сентисс Фарма Пвт. Лтд», Индия), Тимолол-ДИА («ДИАФАРМ», Россия), Тимолол МЭЗ (Московский эндокринный завод, Россия) и Тимолол Белмедпрепараты (Беларусь).

Измерения выполнялись с помощью дифференциальной импульсной вольтамперометрии. Небольшие отличия в вольтамперных кривых, связанные с наличием вспомогательных веществ в препаратах и природой модификаторов, не позволяют достоверно идентифицировать производителя. Для выявления схожести и различия между образцами использовали хемометрическую обработку данных методом главных компонент (МГК) и классификации SIMCA. По результатам многомерной обработки данных видно, что системы с одним или двумя сенсорами не идентифицируют препараты тимолола: сформированные ими кластеры на плоскости главных компонент накладываются друг на друга, что не позволяет чётко разделить образцы по происхождению. При применении трёхсенсорной системы на плоскости главных компонент образуются непересекающиеся кластеры, что доказывает высокую классификационную способность мультисенсорного подхода. Для численной оценки надёжности распознавания применили SIMCA-классификацию. Трёхсенсорная система обеспечивает 100% правильной классификации, что соответствует современным требованиям фармацевтического анализа к чувствительности и специфичности методов контроля подлинности препаратов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант № 23-73-00119

Список литературы

1. Zilberg R.A., Bulysheva E.O., Teres Y.B. [et al.]. Voltammetric electronic tongue for identification of naproxen pharmaceuticals by manufacturer – *Chimica Techno Acta*, 2025. – V. 12, No. 2, P. 12204.
2. Zil'berg R.A., Yarkaeva Y.A., Maksyutova E.I. [et al.]. Voltammetric identification of insulin and its analogues using glassy carbon electrodes modified with polyarylenephthalides – *Journal of Analytical Chemistry*, 2017. – V. 72, No. 4, P. 402-409.

3. Зильберг Р.А., Сидельников А.В., Яркаяева Ю.А. [и др.]. Идентификация лекарственных средств на основе бисопролола с использованием вольтамперометрического "электронного языка" – Вестник Башкирского университета, 2017. – Т. 22, № 2, С. 356-363.
4. Zilberg R.A., Teres Y.B., Bulysheva E.O. [et al.]. A chiral Ni(II) complex immobilized on Carboblack C as a readily available and effective enantioselective voltammetric sensor for recognition of atenolol enantiomers in real samples – *Electrochimica Acta*, 2025. – V. 529, P. 146309.
5. Майстренко В.Н., Евтюгин Г.А., Зильберг Р.А. Энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры – Уфа: Башкирский государственный университет, 2018. – 189 с.
6. Сидельников А.В., Яркаяева Ю.А., Зильберг Р.А. [и др.]. Идентификация антиаритмических препаратов с использованием пленочных электродов, модифицированных полиарилефталитами – Вестник Башкирского университета, 2014. – Т. 19, № 4, С. 1172-1176.
7. Maistrenko V.N., Sidel'nikov A.V., Zil'berg R.A.. Enantioselective Voltammetric Sensors: New Solutions – *Journal of Analytical Chemistry*, 2018. – V. 73, No. 1, P. 1-9.
8. Zil'berg R.A., Maistrenko V.N., Yarkaeva Y.A., Dubrovskii D.I. An Enantioselective Voltammetric Sensor System Based on Glassy Carbon Electrodes Modified by Polyarylenephthalide Composites with α -, β -, and γ -Cyclodextrins for Recognizing D- and L-Tryptophans – *Journal of Analytical Chemistry*, 2019. – Vol. 74, No. 12, P. 1245-1255.

© Булышева Е.О., Мадиярова Г.Б., 2026

УДК 54.057:546.571-36:502.174.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СИНТЕЗА ГИДРОКСИДА ДИАММИНСЕРЕБРА

Валинурова А.Р., Мурзагулова Э.И.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Гидроксид диамминсеребра $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\text{OH}$ (реактив Толленса) является важнейшим реагентом для качественного определения альдегидов и синтеза наночастиц серебра, однако его классическое получение сопряжено с риском образования взрывчатых побочных продуктов (нитрид и азид серебра) [1]. Цель работы – сравнительный анализ методик синтеза данного комплекса.

В ходе исследования проанализированы три подхода: классический (взаимодействие AgNO_3 с $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), биогенный (с использованием экстрактов растений, меда, биополимеров) и безаммиачный (с цетилтриметиламмоний бромидом, СТАВ) [2]. Показано, что классический метод обеспечивает максимальную чувствительность и селективность реакции «серебряного зеркала» [1], но требует строгого соблюдения правил

безопасности: свежего приготовления, немедленного использования и уничтожения остатков кислотой. Установлено, что «зеленые» методики на основе глюкозы, фруктозы или экстракта розмарина исключают токсичный формальдегид и снижают риск взрыва, однако уступают в аналитической селективности из-за многокомпонентности природных восстановителей [2].

Применение СТАВ позволяет получать стабильные дисперсии наносеребра в органических средах, что перспективно для создания проводящих чернил и антибактериальных покрытий [2]. Микрофлюидные реакторы и микроволновая активация предложены как пути повышения безопасности процесса.

Таким образом, выбор метода синтеза определяется конечной задачей: для аналитических целей предпочтителен классический реактив Толленса (золотой стандарт), а для препаративного синтеза наночастиц и материаловедения – биогенные и безаммиачные методики, соответствующие принципам зеленой химии [1,2].

Список литературы

1. Буслаева Т.М. Химическая технология золота и серебра: учебно-методическое пособие.-М.:РТУ МИРЭА, 2025. – 70 с.

2. Оствальд Р.В. и др. Химическая технология золота и серебра: учебное пособие. – Томск: ТПУ, 2021. – 69 с.

© Валинурова А.Р., Мурзагулова Э.И., 2026

УДК 666.777:620.173.25

ТЕПЛОСТОЙКИЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ НА ФОСФАТНЫХ СВЯЗУЮЩИХ: СВОЙСТВА, ПОВЕДЕНИЕ ПРИ НАГРЕВЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Варин Д.И., Фаздалова И.Р., Ахметшин Б.С., Ахметшина А.С.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Развитие тепло- и огнестойких керамических композитов связано с потребностью получать изделия, которые сохраняют форму, прочность и устойчивость при нагреве, но при этом не требуют чрезмерно энергоемкой обработки. Общая логика рассмотренных публикаций выстраивается вокруг одной темы: как подобрать сырье, связующее и режим обработки так, чтобы керамический материал был технологичным при изготовлении и надежным в эксплуатации. Особое внимание уделено пиррофиллитовому сырью месторождения Куль-Юрт-Тау, корундовым наполнителям и фосфатным связующим, позволяющим получать изделия огнеупорного и конструкционного назначения.

Поведение пиррофиллитовых композитов при нагреве и сжатии показывает, что надежность материала определяется не только исходным составом, но и тем, как он меняет размеры под действием температуры и

нагрузки. Пирофиллит ценен хорошей обрабатываемостью, химической стойкостью, малым содержанием нежелательных примесей и возможностью применения в безобжиговых огнеупорах. При нагреве образцы сначала расширяются: заметное изменение хода деформации приходится на область около 400-500 °С, где удаляется вода. До температур примерно 1100 °С расширение сохраняется, но чем выше внешняя нагрузка, тем меньше выражен этот процесс. При дальнейшем нагреве начинается сжатие, связанное с перестройкой внутренней структуры материала. Составы на основе ортофосфорной кислоты деформируются меньше и проявляют меньшую ползучесть, чем материалы на алюмохромфосфатном связующем, поскольку во втором случае образуется больше стекловидной составляющей. Наименьшая деформация отмечается при 1250 °С, а повышение температуры до 1450 °С увеличивает ее примерно в 2,5 раза. При длительном нагружении структура уплотняется: уменьшаются открытая пористость и средний размер пор. Главная практическая мысль состоит в том, что такие композиты нужно оценивать по их поведению во время службы, а не только по исходной прочности; полученные данные позволяют выбирать предварительную обработку, рабочую температуру и допустимую нагрузку для конкретного изделия [1].

Корундово-пирофиллитовые композиты развивают эту идею в сторону получения более устойчивых и технологичных материалов. Электрокорунд выполняет роль прочного зернистого наполнителя, а тонкоизмельченное пирофиллитовое сырье вместе с фосфатным связующим способствует формированию прочной связи между частицами. При использовании ортофосфорной кислоты твердение идет главным образом при нагреве в интервале 250-370 °С, а при применении алюмохромфосфатного связующего материал способен набирать прочность уже при нормальных условиях. После выдержки на воздухе такие составы приобретают заметную прочность, а последующая умеренная термообработка повышает стабильность заготовок. Добавление пирофиллитового сырья к зернистым наполнителям снижает температуру твердения, повышает прочность при умеренном нагреве, уменьшает разупрочнение в интервале 700-1000 °С и повышает устойчивость к резким температурным воздействиям. Материалы сохраняют небольшое тепловое расширение, обладают низкой теплопроводностью и могут использоваться как огнеупорные и конструкционные в диапазоне до 1250-1350 °С в зависимости от состава шихты. Практическая значимость подтверждается изготовлением горелочных камней, керамических плит, футеровочных элементов и электроизоляционных изделий, которые показали высокие эксплуатационные качества [2].

Технология многофункциональной композиционной керамики переносит внимание с отдельных составов на общий способ производства изделий сложной формы. Керамические материалы востребованы в промышленности благодаря прочности, твердости, огнеупорности,

химической стойкости и возможности работать в агрессивных условиях. Предложенный подход строится на системе «неорганический наполнитель - связующее», где связующее на этапе сушки формирует очень мелкие активные частицы, равномерно распределяющиеся по поверхности порошков. Благодаря этому спекание и упрочнение могут проходить при более низких температурах: для ряда тугоплавких соединений и высокоогнеупорных оксидов указывается интервал 700-1400 °С вместо традиционных температур около 1700 °С. Небольшое количество связующего, порядка 2-4 % от общего объема шихты, обеспечивает подвижность массы при влажности 4-5 %, тогда как обычные технологии требуют значительно большего количества воды. Это облегчает заполнение сложных форм, снижает расход энергии и расширяет ассортимент продукции. На такой основе могут изготавливаться электроизоляционные детали, керамические элементы для нагревательных устройств, теплоизоляционные плиты, горелочные камни, тигли и элементы термических агрегатов [3].

В совокупности рассмотренные материалы показывают переход от подбора отдельных компонентов к управляемому созданию керамики с заданными свойствами. Пирофиллитовое сырье дает композициям стабильность при нагреве и хорошую технологичность, корунд повышает прочность и устойчивость зернистого каркаса, а фосфатные связующие позволяют получать прочную структуру без обязательного высокотемпературного обжига. Наиболее важным оказывается согласование трех факторов: состава, режима предварительной обработки и условий будущей службы. Если материал должен работать под нагрузкой при высокой температуре, необходимо учитывать ползучесть и изменение пористой структуры. Если изделие имеет сложную форму, важными становятся текучесть массы, низкая влажность и возможность набора прочности при умеренной температуре. Поэтому тема керамических композитов на фосфатных связующих объединяет технологическую экономичность, расширение области применения местного минерального сырья и повышение надежности изделий для промышленного оборудования.

Список литературы

1. Мурзакова А.Р., Шаяхметов У.Ш., Багунов В.С. Исследование высокотемпературной ползучести композиционных материалов на основе пирофиллитового сырья // Огнеупоры и техническая керамика. 2011. № 7-8. С. 38-42.
2. Мурзакова А.Р., Шаяхметов У.Ш., Юмабаев Ю.С., Шаяхметов Р.У. Композиционные материалы на основе корундового и пирофиллитового сырья // Перспективные материалы. 2012. № 3. С. 81-86.

3. Мурзакова А.Р., Валеев И.Р., Шаяхметов У.Ш. Технология эффективных многофункциональных керамических композиционных материалов // Огнеупоры и техническая керамика. 2012. № 1-2. С. 37-39.

© Варин Д.И., Фаздалова И.Р., Ахметшин Б.С., Ахметшина А.С, 2026

УДК 666.777:620.173.25

НОВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ КЕРАМИКИ ДЛЯ ТИГЛЕЙ, ФУТЕРОВКИ ПЕЧЕЙ И ТЕРМОАГРЕГАТОВ: ОТ СЫРЬЯ ДО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Варин Д.И., Фаздалова И.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Материалы, объединенные в данном обзоре, связаны общей практической задачей: как сделать керамические изделия и защитные покрытия более надежными там, где на них одновременно действуют высокая температура, механическая нагрузка, расплавы, агрессивные газы и резкие перепады условий. Общая логика этих работ понятна даже без углубления в узкие термины: обычная керамика ценится за стойкость к нагреву, но в реальном производстве она часто разрушается не от одного сильного воздействия, а от сочетания многих факторов. Поэтому внимание переносится с простой прочности материала на устройство его внутренней структуры, подбор связующего, режим подготовки сырья и порядок нагрева. Если управлять этими стадиями, можно получить изделия, которые меньше растрескиваются, лучше держат форму, дольше служат и обходятся дешевле традиционных решений.

Первый материал посвящен изготовлению керамических огнеупорных тиглей для плавки и разливки жаропрочных сплавов. Главная проблема здесь связана с тем, что такие тигли работают рядом с расплавом очень высокой температуры, а их разрушение сразу становится технологическим браком: мелкие частицы стенки могут попасть в металл, ухудшить качество отливки и сделать изделие непригодным. Поэтому авторы делают акцент не только на жаростойкости, но и на стабильности формы, отсутствии растрескивания, выкрашивания и взаимодействия с расплавом. Для решения этой задачи предложена технология получения быстроразъемных тиглей на основе керамической композиции с неорганическим связующим. Важная мысль состоит в том, что прочность заготовки обеспечивается не только крупными зернами наполнителя, но и тонкой связующей прослойкой между ними. За счет мелких частиц масса лучше заполняет сложную форму, а после уплотнения и тепловой обработки сохраняет заданную геометрию. Технологическая цепочка включает дозирование электрокорунда, тонкомолотого глинозема, циркониевого сырья и связующего, смешивание, формование в металлической форме, сушку, нагрев, пропитку и последующую

термообработку. Требования к изделию заданы жестко: работа при температуре расплава до 1700 °С, выдержка нагрева, разливка при 1550-1610 °С и ресурс около 20-25 плавов без заметного разрушения. Полученные тигли имели достаточную плотность, ограниченную открытую пористость, прочность при сжатии не ниже 40 МПа и чистую рабочую поверхность без трещин и раковин. Практическая ценность такой разработки заключается в том, что она переводит проблему тигля из области случайной стойкости в область управляемой технологии: заранее задаются состав, структура, режимы обработки и ожидаемое поведение при работе с расплавом [1].

Второй материал переносит тот же подход к другой производственной ситуации - защите футеровки вращающихся печей, где сжигаются осадки сточных вод нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий. В таких печах приходится иметь дело не просто с высокой температурой, а с влажными, зольными и химически сложными отходами, из-за чего внутренняя защитная облицовка постепенно изнашивается и разрушается. У барабанных печей есть понятные достоинства: они способны перерабатывать отходы с большой влажностью и зольностью, а количество пыли в отходящих газах сравнительно невелико. Но слабое место находится именно в футеровке, потому что ее разрушение повышает расходы, усложняет обслуживание и снижает надежность всей установки. Предложенное решение строится на применении многофункциональной керамической композиции с неорганическим связующим и использованием пирофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау. Смысл выбора такого сырья в том, что после нагрева оно образует соединения, которые помогают снизить расширение материала при изменении температуры и повысить его стойкость к огню. Подготовка включает дробление породы, мокрое измельчение, сушку, повторное измельчение и получение зернистого наполнителя после нагрева. Далее электроплавленный корунд разных фракций смешивается со связующим, постепенно вводится тонкоизмельченный пирофиллит, затем образцы получают трамбованием или прессованием. Уже после семи суток твердения на воздухе они набирают заметную прочность, а после дополнительной тепловой обработки показывают высокие рабочие характеристики. Особенно важным выглядит сочетание трех свойств: повышенной прочности после нагрева до 900-1200 °С, способности выдерживать более 100 резких циклов нагрева и охлаждения, а также более низких затрат по сравнению с традиционной спеченной керамикой. Основная мысль здесь достаточно практичная: отходы и местное минеральное сырье можно превратить в рабочий материал для защиты печей, если правильно подобрать состав и режим обработки [1].

Третий материал сосредоточен на том, как предварительный нагрев и последующее воздействие нагрузки меняют поведение керамической

композиции на основе оксида алюминия и фосфатного связующего. Здесь важен не сам факт, что материал выдерживает высокую температуру, а то, в какой момент он начинает заметно деформироваться, как быстро идет усадка и насколько устойчивой становится его внутренняя структура после разных режимов подготовки. Для этого рассматривались цилиндрические образцы из тонкомолотого оксида алюминия и фосфатного связующего при соотношении твердой и жидкой частей 2:1. Образцы нагревались до 1600 °С под различной нагрузкой, а скорость нагрева менялась от 2,5 до 10 °С в минуту. Выявлена понятная зависимость: чем больше нагрузка, тем сильнее деформация; чем медленнее идет нагрев, тем больше времени нагрузка действует на образец и тем заметнее итоговое изменение формы. При этом предварительная обработка играет роль своеобразной настройки структуры. После обработки при более низких температурах материал еще проходит через перестройку в зоне примерно 450-750 °С, а после нагрева выше 800-900 °С структура становится устойчивее, и начало деформации смещается к более высоким температурам. При обработке около 900 °С начало заметной деформации под нагрузкой отодвигается примерно до 1250 °С, а после предварительного нагрева до 1400 °С - еще выше. Итоговая идея заключается в том, что надежность керамических изделий зависит не только от химического состава, но и от истории нагрева: правильно выбранная предварительная обработка помогает заранее сформировать более устойчивую структуру и тем самым точнее определить, где такой материал можно применять. На этой основе возможно изготавливать мелкие фасонные огнеупорные детали и защитные элементы для температур до 1700 °С [2].

Если рассматривать эти материалы вместе, то перед нами складывается единая линия рассуждения. Тигель разрушается рядом с расплавом, футеровка изнашивается внутри печи, образец меняет форму под нагрузкой при нагреве, но во всех случаях ответ ищется не в простой замене материала, а в настройке всей цепочки получения изделия. Выбор сырья, подготовка зерен и тонкой части смеси, связующее, формование, сушка и нагрев рассматриваются как связанные этапы. Для промышленности это особенно важно: свойства изделия заранее соотносятся с условиями службы, будь то стойкость к расплаву, ресурс печной футеровки или сохранение формы под нагрузкой.

Общий вывод состоит в том, что работы У.Ш. Шаяхметова показывают практический путь повышения надежности огнеупорных керамических изделий без чрезмерного усложнения производства. Управляемая структура материала помогает заполнить форму, создать прочный контакт между зернами и сохранить изделие при высокотемпературной работе. Такие решения удобны для реального производства, где важны срок службы, отсутствие загрязнения продукции, ремонтпригодность и стоимость.

Список литературы

1. Бакунов, В. С. Изменения структуры при нагревании и высокотемпературная деформация композитов на основе пиропиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау / В. С. Бакунов, А. Р. Мурзакова, У. Ш. Шаяхметов, Р. У. Шаяхметов, Л. В. Якупова // Стекло и керамика. – 2013. – № 1. – С. 24–28.

2. Шаяхметов, У. Ш. Эффективная многофункциональная наноструктурированная композиционная керамика / У. Ш. Шаяхметов, А. Р. Мурзакова // Новые огнеупоры. – 2014. – № 2. – С. 19–21.

3. Стеновые изделия на основе фосфогипса / У. Ш. Шаяхметов, А. Г. Мустафин, В. В. Бабков, И. В. Недосеко, З. Ф. Кагирова // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. – 2008. – Т. 13, № 2. – С. 29–30.

© Варин Д.И., Варин Д.И., Фаздалова И.Р., 2026

УДК 666.777:620.173.25

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЖАРОСТОЙКИХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Варина С.Р., Фаздалова И.Р., Яншаев Д.С.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Современное изготовление жаростойкой керамики диктует потребность в создании прочных, термостойких и удобных в эксплуатации деталей при одновременном снижении расхода сырья, энергозатрат и времени производства. В исследованиях У.Ш. Шаяхметова и его коллег прослеживается единый концептуальный подход: конечное качество продукции зависит не исключительно от химического состава шихты, но и от всего технологического маршрута ее переработки. Сюда входит подготовка исходных компонентов, формование, термическая обработка с выдержкой и последующий контроль физико-механических свойств. Подобная комплексность критически важна для промышленного оборудования, в котором керамические элементы функционируют в условиях экстремального нагрева, агрессивного воздействия расплавов и механических нагрузок, сохраняя при этом свою геометрическую целостность.

Профильные керамические изделия охватывают широкий спектр номенклатуры, включая трубы, втулки, изоляторы, а также детали сложной конфигурации с внутренними каналами или пазами. Классические методы их производства часто сопряжены с высоким расходом энергии, значительным процентом брака и сложностями в адаптации режимов под специфическое сырье. Ключевая идея рассматриваемой методики заключается в минимизации этих недостатков за счет организации непрерывного технологического цикла. Процесс начинается с измельчения, дозирования и смешивания компонентов со связующим, после чего масса

формируется на вакуумном поршневом прессе-экструдере, а полученные заготовки подвергаются сушке и обжигу. В качестве базового материала используется алюмосиликатное сырье различной гранулометрии с добавлением пластификатора и неорганического связующего. Данная рецептура обеспечивает стабильность характеристик даже при изготовлении изделий с тонкостенными перегородками между каналами. Внедрение такой линии на базе стандартного заводского оборудования не только расширяет ассортимент, но и снижает себестоимость, поскольку готовые элементы демонстрируют повышенную прочность и стойкость к растрескиванию [1].

Углеродсодержащие жаростойкие керамические материалы незаменимы в узлах, контактирующих с расплавами металлов и шлаков, подвергающихся резким термическим ударам и длительному нагреву. Увеличение доли углерода закономерно повышает шлакоустойчивость и термостойкость, однако это часто сопровождается падением механической прочности и ростом окисляемости. Следовательно, приоритетной задачей становится оптимизация состава, позволяющая нивелировать минусы углерода при сохранении его преимуществ. Традиционная технология производства шамотно-графитовых огнеупоров требует продолжительной сушки, иногда достигающей 25 суток, и высокотемпературного обжига, что ведет к удорожанию процесса и росту брака. Предложенное решение базируется на применении неорганического связующего, которое обеспечивает набор прочности уже на этапе сушки, фиксируя сложную геометрию заготовки до окончательного приобретения эксплуатационных свойств после нагрева. В работе проводится сравнительный анализ двух углеродных наполнителей: таурита и технического углерода. Хотя оба варианта удовлетворяют базовым требованиям, образцы с тауритом демонстрируют лучшие эксплуатационные показатели. Дополнительно обоснован оптимальный режим термообработки для алюмосиликатных систем: нагрев до 1350 °С обеспечивает надежную работу материала при температурах до 1550 °С. Промышленные испытания подтвердили, что разработанный материал не уступает зарубежным аналогам по ключевым параметрам, а по стойкости к термоударам даже превосходит их [2].

Для гарантированной надежности эксплуатации керамических деталей необходимо заблаговременно оценивать их поведение, в частности изменение геометрических размеров и формы под воздействием высоких температур и механических нагрузок. Подобные данные критичны для прогнозирования работы узлов в реальных условиях и выбора безопасных рабочих режимов. Ранее применявшиеся однопозиционные установки позволяли тестировать образцы при температурах до 1550 °С и нагрузке до 5 МПа, однако их эксплуатация требовала постоянного визуального контроля, ручной фиксации времени и деформации. Суть третьей работы состоит в переходе от ручного мониторинга к системе автоматизированного управления. Специально разработанное программное

обеспечение задает скорость нагрева, стабилизирует температуру, фиксирует время выдержки, непрерывно регистрирует изменение длины образца и архивирует результаты в текстовом и графическом форматах. Такой подход повышает объективность испытаний, минимизирует влияние человеческого фактора и позволяет операторам находиться вне опасной зоны. Ценность данной системы выходит за рамки простой регистрации данных, формируя надежную базу для стабильного контроля термообработки, документирования процессов и последующего совершенствования качества керамических композиций [3].

В совокупности проанализированные исследования отражают поступательное развитие технологий жаростойкой керамики. Сначала решается проблема выпуска сложнопрофильной продукции с минимальным браком, затем оптимизируется состав углеродсодержащих материалов для экстремальных условий, и, наконец, совершенствуется система контроля деформаций при нагреве. Сквозной тенденцией выступает переход к более управляемому и рентабельному производству, где решающую роль играет не изолированность отдельных операций, а их полная технологическая согласованность. Применение доступного сырья, эффективных неорганических связующих, прецизионного формования и автоматизированного контроля качества позволяет выпускать продукцию, полностью готовую к промышленной эксплуатации, снижая при этом издержки и повышая общую надежность технологического оборудования.

Список литературы

1. Шаяхметов, У. Ш. Эффективная многофункциональная наноструктурированная композиционная керамика / У. Ш. Шаяхметов, А. Р. Мурзакова // Новые огнеупоры. - 2014. - № 2. - С. 19 - 21.
2. Шаяхметов, У. Ш. О керамическом материаловедении / У. Ш. Шаяхметов // Новые технологии в материаловедении : материалы I научно-практической конференции с международным участием / отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. - 2015. - С. 8-11.
3. Shayakhmetov, A. U. Technology of reaction bonded silicon carbide (SiC) products / A. U. Shayakhmetov, M. Li, U. Sh. Shayakhmetov // Новые технологии в материаловедении: материалы I научно-практической конференции с международным участием / отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. - 2015. - С. 13.

© Варина С.Р., Фаздалова И.Р., Яншаев Д.С., 2026

ПИРОФИЛЛИТОВОЕ СЫРЬЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ
КУЛЬ-ЮРТ-ТАУ КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ
КЕРАМИЧЕСКИХ И ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Варина С.Р., Фаздалова И.Р.

Уфимский университет науки и технологий Уфа, Россия

Месторождение Куль-Юрт-Тау рассматривается как важный источник местного сырья для выпуска керамических и огнеупорных материалов. Пирофиллит ценится благодаря светлой окраске, хорошей обрабатываемости, стойкости к действию кислот и щелочей, способности выдерживать высокие температуры и сохранять полезные свойства после нагревания. Совокупность работ показывает не только природную ценность этого сырья, но и путь его практического использования: от оценки состава пород до получения изделий и подготовки тонкомолотого порошка для предприятий.

Пирофиллитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Тау представлено главным образом пирофиллит-кварцевыми породами, среди которых встречаются кварц-пирофиллитовые сланцы, серицитсодержащие и высокоглиноземистые разновидности. Такая неоднородность важна для производства, потому что содержание кварца, пирофиллита, серицита и диаспора влияет на поведение материала при нагревании и на свойства будущих изделий. При повышении температуры из сырья удаляется связанная вода, затем образуются новые жаростойкие соединения - муллит и кристобалит. Именно они обеспечивают низкое расширение при нагреве, высокую огнеупорность и рост прочности после обжига. Главная мысль сводится к тому, что месторождение может стать собственной сырьевой базой Башкортостана для строительных, керамических, машиностроительных и других предприятий, однако для этого требуется промышленная разработка и продуманная линия переработки [1].

Дальнейшее развитие темы связано с получением готовых композиционных материалов из местного пирофиллитового сырья. Пирофиллит предложен не только как минеральная добавка, но и как основа массы, из которой можно формовать прочные изделия при использовании фосфатных связующих. Проверялись составы с ортофосфорной кислотой и алюмохромфосфатным связующим; прочность образцов зависела от количества связующего, его концентрации, плотности, температуры и скорости нагрева. Наиболее заметное упрочнение происходило после обработки выше 300-400 °С, а формирование устойчивой первоначальной структуры завершалось в области 500-600 °С; дальнейший нагрев до 900-1000 °С увеличивал прочность. Практическая значимость состоит в том, что из такой массы были получены элементы футеровки термоагрегатов, электроизоляционные втулки, трубки и горелочные блоки. Это показывает возможность перехода

от сырья к конкретным промышленным изделиям, пригодным для работы в условиях нагрева и механической нагрузки [2].

Завершающим звеном является технология подготовки пирофиллитового порошка, без которой промышленное применение месторождения остается затрудненным. Сырье, поступающее в виде крупных кусков, предлагается последовательно дробить до 50 мм, затем до 0,5-3,0 мм, после чего отделять ненужные включения и направлять мелкую фракцию на мокрый помол. После сушки выполняется сухое измельчение до тонкомолотого порошка с развитой поверхностью, пригодного для дальнейшего использования в керамических массах. Особое значение имеет переход к современным мельничным комплексам, где измельчение, сушка и контроль качества объединены в одной линии. Это сокращает время обработки, снижает стоимость продукции и позволяет выпускать обогащенный пирофиллитовый порошок как товарное сырье для предприятий; расчетный срок окупаемости такой линии составляет около трех лет [3].

Обобщение рассмотренных материалов позволяет увидеть единую логику: Куль-Юрт-Тау обладает не только запасами полезного минерала, но и реальной технологической перспективой. Сначала подтверждаются свойства сырья и его поведение при нагревании, затем раскрываются способы получения изделий на его основе, после чего предлагается схема подготовки промышленного порошка. Поэтому пирофиллитовое сырье данного месторождения можно рассматривать как основу для импортозамещения, расширения местной сырьевой базы и выпуска широкого круга керамических и огнеупорных материалов.

Список литературы

1. Шаяхметов, У. Ш. О керамическом материаловедении / У. Ш. Шаяхметов // Новые технологии в материаловедении : материалы I научно-практической конференции с международным участием / отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. – 2015. – С. 8–11.
2. Shayakhmetov, A. U. Technology of reaction bonded silicon carbide (SiC) products / A. U. Shayakhmetov, M. Li, U. Sh. Shayakhmetov // Новые технологии в материаловедении : материалы I научно-практической конференции с международным участием / отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. – 2015. – С. 13.
3. Шаяхметов, У. Ш. Пиропфиллитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Тау как сырье для керамической промышленности / У. Ш. Шаяхметов, Г. Х. Янышева, Л. У. Киеккужина, В. С. Третьякова // Современные технологии композиционных материалов : материалы II научно-практической молодежной конференции с международным участием / отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. – 2016. – С. 189–190.

© Варина С.Р., Фаздалова И.Р., 2025

ИЗМЕНЕНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА
НА ОСНОВЕ ПЕКОВОГО КОКСА В ПРОЦЕССЕ ГРАФИТАЦИИ

Васильев И.А., Фазлитдинова А.Г., Тюменцев В.А.

Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

Эксплуатационные свойства искусственных графитированных материалов, на основе нефтяных и пековых коксов, определяются конечной микроструктурой, в частности, размерами областей когерентного рассеяния (ОКР) и текстурой, пространственной однородностью по химическому и фазовому составу, формирование которых зависит от последовательности фазовых и химических превращений.

Особенности структурного перехода прекурсора углеродного материала в графит в процессе высокотемпературной обработке является предметом многочисленных исследований. В большинстве работ отмечается монотонный характер изменения межплоскостных расстояния d_{002} и средних размеров ОКР по мере повышения температуры обработки как хорошо-, так и труднографитирующихся углеродсодержащих материалов [1,2]. В тоже время в работах [3-5] показано, что по мере повышения температуры или продолжительности высокотемпературной обработки на зависимостях изменения значений d_{002} наблюдаются плато при значениях, равных $d^1_{002} = 0,336$, $d^2_{002} = 0,337$, $d^3_{002} = 0,340$, $d^4_{002} = 0,3425$, $d^5_{002} = 0,3440$ и $d^6_{002} = 0,355/0,368$ нм. Å. Природа такого изменения d_{002} может быть связана с последовательным формированием в исследуемых углеродных материалах метастабильных состояний, отличающихся значением межплоскостного расстояния. В данной работе методом рентгеноструктурного анализа, спектроскопии комбинационного рассеяния и рентгенофлуоресцентного анализа изучено изменение тонкой структуры углеродного материала в процессе высокотемпературной обработки.

Экспериментальная часть

Исследования проведены на образцах, изготовленных на пековом коксе, связующее ~25 масс.% пека. Образцы углеродных материалов прошли термообработку в интервале температур от 1100 до 2200°C.

Рентгеновские дифракционные исследования выполнены на фильтрованном $\text{CuK}\alpha$ излучении (дифрактометр D8 Advance, Bruker) в геометрии Брегга-Брентано. Разложение асимметричных максимумов (002) проводили с помощью программы Origin на минимальное число компонент, описываемых функцией Pearson VII. Межплоскостные расстояния (d_{002}) и средние размеры ОКР (L_{002} и L_{100}) определяли по формулам Вульфа-Брэгга и Шеррера соответственно.

Спектры комбинационного рассеяния (КР) регистрировали с помощью лазерного спектрометра КР фирмы EnSpectr с длиной волны 532

нм. Средние размеры ОКР (L_a , нм) в базисной плоскости определяли по формуле Кансадо, предложенной в [5].

Определение процентного содержания серы в исследуемых образцах проведено на рентгенофлуоресцентном спектрометре X-Supreme 8000 (Oxford Instruments).

Результаты и обсуждение

В процессе высокотемпературной обработки наблюдается изменение полуширины дифракционного максимума (002), рис.1. При этом отчетливо наблюдается асимметрия профилей максимумов, что может быть обусловлено одновременным присутствием метастабильных углеродных фаз, отличающихся значением межплоскостного расстояния. В процессе графитации углеродного материала наблюдается уменьшение значений d_{002} и рост размеров ОКР L_{002} , рис.2. Обнаруживается температурная область, при которой фиксируется аномальное изменение структурных параметров в диапазоне 1900°C.

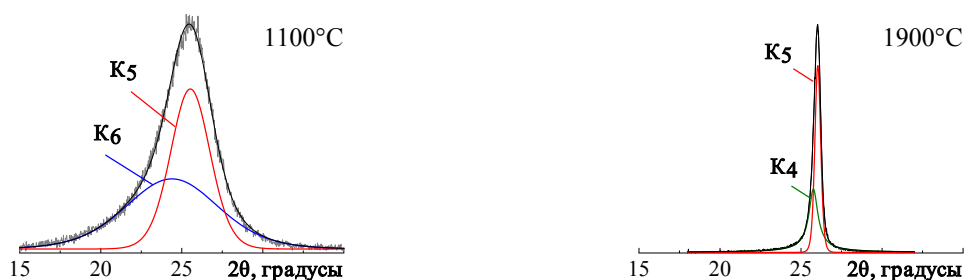


Рисунок 1. Изменение профиля дифракционного максимума (002) углеродного материала на основе пекового кокса, прошедшего термообработку при 1100 и 1900°C, а также пример разделения максимума на симметричные компоненты.

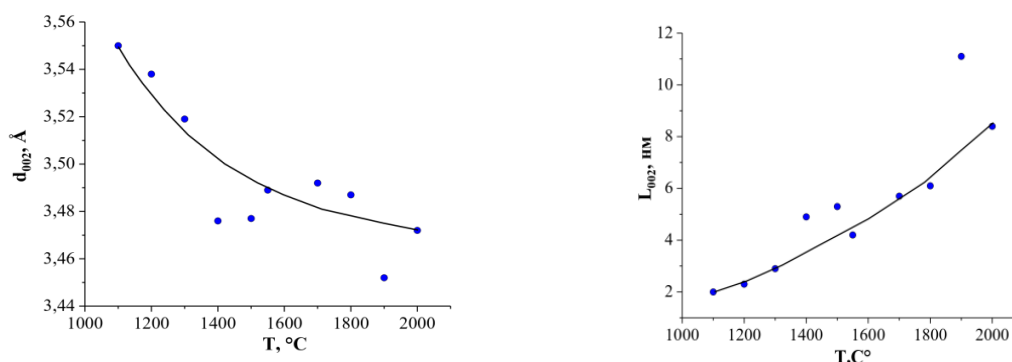


Рисунок 2. Изменение средних значений межплоскостного расстояния (d_{002}) и средних размеров областей когерентного рассеяния (L_{002}) углеродного материала в процессе графитации

На основе разделения профилей дифракционных максимумов (002) показано, что в углеродных материалах в процессе высокотемпературной обработки в указанных на рис.3 температурах, одновременно формируются не более двух метастабильных состояний, отличающихся в том числе и

размерами ОКР. По мере повышения температуры обработки материала на основе пекового кокса от ~ 1100 до $\sim 1800^\circ\text{C}$ наблюдается только постепенное увеличение размеров ОКР двух метастабильных фаз. Аномально активная перекристаллизация материала происходит при $\sim 1900^\circ\text{C}$, формируется новая метастабильная фаза с межплоскостным расстоянием $d_{002}^4 = 0,3425$ нм и размерами ОКР $L_{002}^5 \sim 22$ нм.

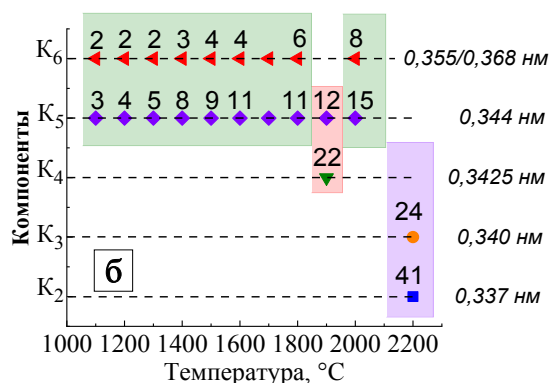


Рисунок 3. Изменения компонентного состава углеродного материала, по мере повышения температуры обработки. Над маркером обозначены размеры ОКР метастабильных компонент (L_{002} , нм).

Спектроскопия комбинационного рассеяния (КР) позволяет оценить средние размеры ОКР в азимутальной плоскости L_a . Изменение средних размеров L_a , полученные методом рентгеновской дифракции, хорошо согласуются с результатами спектроскопии КР, рис.4.

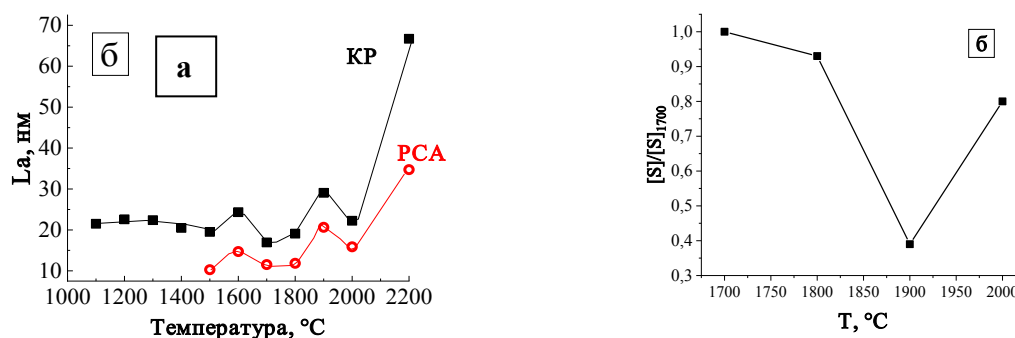


Рисунок 4. Изменение средних размеров L_a (а), вычисленные по данным рентгеноструктурного анализа (РСА) и спектроскопии комбинационного рассеяния (КР); зависимость относительного содержания серы на поверхности частиц от температуры (б).

Природа аномального изменения структурных параметров и компонентного состава, по-видимому, обусловлена влиянием примесей в материале, рис.5. В области 1900°C фиксируется резкое уменьшение содержания серы в исследуемом материале.

Закключение

Углеродный материал неоднороден по фазовому составу. Полученные данные позволяют предположить, что переход углеродного материала в

новое состояние по мере повышения температуры обработки развивается через ряд метастабильных состояний. Природа существенной перекристаллизации углеродного материала, по-видимому, обусловлена влиянием серы в исследуемом образце.

Работа выполнена при поддержке Фонда перспективных научных исследований ФПНИ-2026/16 Челябинского государственного университета.

Список литературы:

1. F. Liu [et al] J. Mater. Sci. 2008. 43 (10) 4316-4322
2. V.A. Tyumentsev [et al] Carbon 1998 36(7/8) 845-853
3. J. Lancher [et al] Phys. Rev. B. 1986 33(12) 8903
4. M.B. Vazquez-Santos [et al] J. Phys. Chem. C. 2012 116(1) 257-268
5. V.A. Tyumentsev [et al] ChemChemTech 2022 65(3) 6-13
6. M.A. Pimenta [et al] Phys.Chem.Chem. Phys. 2007 9 1276-1291

© Васильев И.А., Фазлитдинова А.Г., Тюменцев В.А, 2026

УДК 547.458.88

СОРБЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ ПЕКТИНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ИНДОЛОМ, ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ Mn^{2+}

Вахитова А.Ф.¹, Мударисова Р.Х.², Минилбаев А.А.¹

¹Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

²Уфимский институт химии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

Исследование различных биологически активных веществ, присоединённых к полисахаридам, обладающих физиологической активностью, является одним из актуальных направлений биоорганической химии. В этом плане перспективно использование такого полисахарида как пектин (ПК) — это анионный полисахарид, основной цепью которого являются остатки D-галактуроновой кислоты. Пектины обладают такими преимуществами, как полифункциональность, нетоксичность, низкая стоимость, биоразлагаемость и высокая сорбционная активность. Несмотря на это, сохраняется актуальность создания новых эффективных биосорбентов на основе пектина с улучшенными свойствами — высокой физиологической активностью и улучшенными кинетическими характеристиками [1]. Для этого применяют различные способы модификации [2]. Одним из методов модификации пектинового сорбента является его комплексообразование с низкомолекулярными биологически активными соединениями, что может повлиять на физико-химические характеристики сорбционного процесса и физиологическую активность полисахаридного материала.

Объектом исследования настоящей работы является яблочный пектин, модифицированный биологически активным соединением —

индолом. Цель исследования: изучение сорбционных свойств модифицированного индолом пектина по отношению к ионам марганца (II).

По результатам исследований [3] модификация пектина с индолом приводит к образованию комплекса с определенными характеристиками, которые влияют на его физико-химические свойства и потенциальное применение. Ключевой особенностью взаимодействия является избирательность связывания: координация происходит через пиррольный атом азота индола, который образует донорно-акцепторную связь с карбонильной группой полисахарида. Ароматическое кольцо индола практически не участвует в комплексообразовании. Это подтверждается отсутствием химических сдвигов сигналов углеродов C⁴–C⁷ в спектрах ¹³C ЯМР. Комплексообразование также подтверждено методами УФ- и ИК-спектроскопии.

Изучение кинетики сорбции ионов Mn²⁺ из водных растворов его соли пектином и его модифицированным образцом показало, что время достижения равновесия в системе «ПК-индол-Mn²⁺» не изменяется по сравнению с немодифицированным пектином и составляет 90 минут, но при модификации повышается эффективность извлечения ионов Mn²⁺ — на 9.5% (таблица 1).

Таблица 1

Кинетические характеристики сорбции ионов Mn²⁺
пектином/модифицированным пектином

Время, мин	Степень извлечения ионов Mn ²⁺ пектином (α), %	Степень извлечения ионов Mn ²⁺ комплексом ПК-индол (α), %
15	20.8	24.9
30	45.4	57.5
60	62.8	77.2
90	74.4	83.9
120	74.4	83.9

Для определения оптимальных условий сорбционного процесса изучено влияние на степень извлечения ионов Mn²⁺ нативным и модифицированным пектином факторов, таких как pH среды и температура раствора.

Зависимость степени извлечения ионов Mn²⁺ пектином от pH достигает максимума (α~70%) при pH около 5, после чего происходит резкое падение сорбционной способности, а зависимость степени извлечения ионов Mn²⁺ комплексом ПК-индол от pH достигает максимума (α~90%) в области pH 6-7, затем плавно снижается.

Обнаружено, что для обоих образцов прослеживается монотонное уменьшение степени извлечения ионов металла по мере повышения температуры. Это классическое термодинамическое явление: при нагреве

кинетическая энергия ионов и молекул сорбента возрастает; связи между ионом и сорбентом ослабевают; усиливается процесс десорбции.

Таким образом, модификация пектина индолем приводит к образованию комплекса с улучшенными сорбционными характеристиками: модифицированный образец превосходит нативный пектин по степени извлечения ионов Mn^{2+} на 9.5% и обеспечивает максимальное извлечение при более нейтральном pH и низких температурах.

Список литературы

1. Аверьянова, Е.В. Пектин: методы выделения и свойства. - Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2015. - 42 с.

2. Kupchik, L.A. Chemical modification of pectin to improve its sorption properties / Russian Journal of Applied Chemistry. - 2006. - V. 79. - № 3. - P. 457-460.

3. Мударисова Р.Х., Куковинец О.С., Колесов С.В., Новоселов И.В. Роль функциональных групп при комплексообразовании структурных аналогов ароматических аминокислот с пектином // Журнал физической химии, 2024, Т. 98, с. 163-170.

© Вахитова А.Ф., Мударисова Р.Х., Минилбаев А.А., 2026

УДК 547.458.88

СОРБЦИЯ ЙОДА МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ПЕКТИНАМИ И КИНЕТИКА ЕГО ВЫСВОБОЖДЕНИЯ

Вахитова А.Ф.¹, Мударисова Р.Х.², Мустафин Р.А.¹, Артемова А.А.¹

¹Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

²Уфимский институт химии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

Йод с давних пор использовался в качестве антисептика для профилактики и лечения широкого спектра инфекций. Однако применение йода ограничивалось такими нежелательными факторами, как раздражение, повышение чувствительности, окрашивание как биологических, так и искусственных поверхностей, низкая растворимость в воде и высокое давление паров [1, 2]. В последнее время в связи с ростом числа исследований о возникающих механизмах бактериальной резистентности и развитием устойчивых к антибиотикам микробов крайне важны разработки более мощных противомикробных препаратов и надежных методов профилактики инфекций.

Известно, что комплексообразование йода с биополимерными носителями не только увеличивает растворимость молекулярного йода, но также способствует его пролонгированному высвобождению [3] и снижению его равновесной концентрации в свободном виде [4]. Однако существенной проблемой при получении йодсодержащих лекарственных форм на основе полисахаридов является заметное уменьшение

концентрации активного йода во времени. Данную проблему можно решить с помощью модифицирования полисахаридов фармакофорами, на основе которых можно получать йодсодержащие препараты устойчивые при длительном хранении и обладающих синергетическим терапевтическим эффектом.

Целью настоящего исследования является получение устойчивых йодсодержащих материалов на основе пектина (ПК), модифицированного фармакологически активными имидазолсодержащими соединениями, и оценке их сорбционных свойств по отношению к молекулярному йоду.

В качестве низкомолекулярных органических компонентов были выбраны гистидин (His) и его метиловый эфир (HisOMe). Подобные лекарственные средства широко применяются в клинической практике, поскольку сочетают в себе высокую терапевтическую эффективность и низкую токсичность [5].

Модификация ПК имидазолсодержащими соединениями приводит к увеличению сорбционной емкости образцов в 2-3.5 раза в зависимости от структуры модифицирующего агента, при этом время достижения равновесия увеличивается до 1008 - 1056 часов по сравнению с нативным ПК (табл. 1). Полученные результаты свидетельствуют о том, что имидазолсодержащие пектины допируются йодом значительно интенсивнее нативного ПК, что может быть обусловлено интеграцией дополнительных функциональных групп в пектиновую матрицу.

Таблица 1.

Содержание йода в образцах после допирования и после десорбции

Образец	Время допирования, ч	Время десорбции, ч	Содержание йода в образце а, %	
			после допирования [I _{общ}], % масс.	после десорбции [I _{общ}], % масс.
ПК-I ₂	20	144	8.2	4.1
ПК-His-I ₂	144	1008	16.2	9.8
ПК-HisOMe-I ₂	144	1056	27.5	18.0

Определение массовой доли йода в образцах непосредственно после десорбции показывает, что наибольшее количество йода (порядка 18%) удерживает образец ПК-HisOMe-I₂ (табл. 1). Определение концентрации йода в образцах даже после года выдержки на воздухе остается неизменным, что свидетельствует о получении устойчивых йодсодержащих пектиновых материалов.

Десорбция ионов I₃⁻ из образцов в воду сопровождается набуханием и растворением самой пектиновой матрицы. Полное высвобождение I₃ из ПК-I₂ происходит через 25-30 мин, в то время как из модифицированных образцов время высвобождения I₃ увеличивается до 4-10 часов, обеспечивая пролонгирующий эффект (рис. 1).

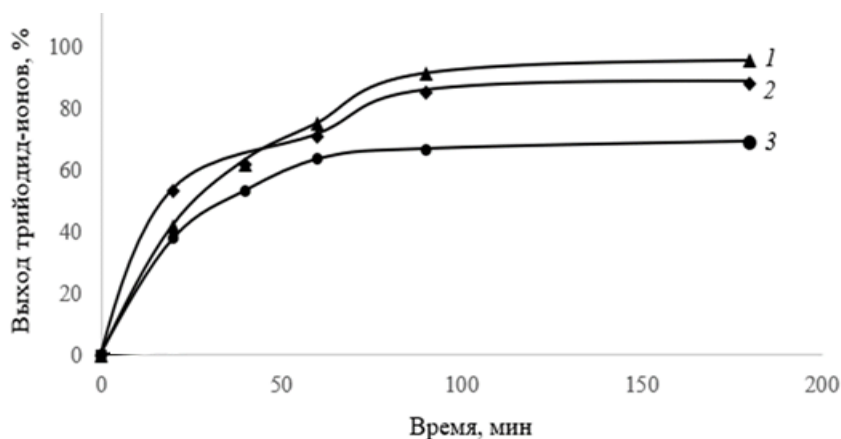


Рисунок 1. Кинетические кривые выхода I_3^- из образцов: ПК (1), ПК-His (2), ПК-HisOMe (3), $\lambda=290$ нм, $l=1.0$ см, $T=37^\circ\text{C}$, растворитель-вода

Для количественного описания кинетики высвобождения I_3^- из образцов использовали модель Корсмейера–Пеппаса, которая в начальной области процесса представлена уравнением:

$$\frac{M_t}{M_\infty} = k \cdot t^n$$

В этом выражении $\frac{M_t}{M_\infty}$ характеризует долю высвободившегося вещества во времени, k является кинетической константой, отражающей суммарную скорость процесса и зависящей от структуры полимера, степени его набухания, пористости и взаимодействия с сорбатом, а показатель n позволяет судить о механизме переноса вещества. Согласно классическим кинетическим моделям транспорта, характер диффузионных процессов определяется значением показателя n :

1. При $n = 0.45$ реализуется классическая диффузия Фика, протекающая исключительно через поровое пространство матрицы и не сопровождающаяся взаимодействием сорбата с полимером.

2. В диапазоне $0.45 < n < 0.89$ наблюдается аномальная (нефиковская) диффузия, индуцированная набуханием полимерной матрицы.

3. Значение $n = 0.89$ соответствует режиму, контролируемому скоростью релаксации макромолекул полимера.

4. При $n > 0.89$ процесс переходит в область интенсивного набухания, протекающего одновременно с эрозией (деструкцией) матрицы.

Для описания кинетики десорбции I_3^- также применяли интегральную форму уравнения псевдо-второго порядка Хо и Маккея:

$$\frac{t}{A_t} = \frac{1}{k_2 \cdot A_p^2} + \frac{t}{A_p}$$

где A_t — количество десорбированного I_3^- в момент времени t (мг/г); A_p — количество десорбированного I_3^- в состоянии равновесия (мг/г); k_2 — константа скорости десорбции псевдо-второго порядка (г/(мг·ч)); t — время (ч).

Модель псевдо-второго порядка применима для описания процессов, где лимитирующей стадией является химическая сорбция/десорбция или процесс контролируется одновременно диффузией и химической реакцией.

В табл. 2 представлены параметры обработки кинетических кривых выхода I_3^- из йодсодержащих пектиновых образцов по модели Корсмейера–Пеппаса.

Таблица 2.

Параметры обработки кинетических кривых выхода I_3^- из образцов по модели Корсмейера–Пеппаса

Образец	n	k, г/(мг·ч)	R ²
ПК	0.58	0.073	0.960
ПК-His	0.52	0.093	0.997
ПК-HisOMe	0.38	0.160	0.954

Анализ диффузионного экспоненциального показателя n позволил дифференцировать механизмы высвобождения йода в зависимости от природы модификатора. Нативный пектин и система ПК-His характеризуются аномальной диффузией, при которой транспорт трийодид-ионов протекает параллельно с процессом набухания полимерной матрицы. Для образцов ПК-HisOMe зафиксирован переход к классическому фиговскому механизму. Это свидетельствует о том, что введение метилового эфира гистидина подавляет набухание матрицы, способствуя формированию дополнительных диффузионных каналов.

Значения констант скорости k подтверждают высокую кинетическую доступность йода в системах ПК-His и ПК-HisOMe, обеспечивающих его пролонгированное, но интенсивное выделение. Таким образом, варьирование структуры фармакофора позволяет целенаправленно регулировать кинетический профиль высвобождения I_3^- для решения конкретных терапевтических задач.

Для выявления вклада химической составляющей сорбции в общий процесс проведен анализ кинетических данных в рамках математической модели псевдо-второго порядка (табл. 3)

Таблица 3.

Параметры обработки кинетических кривых выхода I_3^- из образцов по модели псевдо-второго порядка

Образец	A _p , мг/г	k ₂ , г/(мг·ч)	R ²
ПК	90.9	0.040	0.998
ПК-His	99.8	0.035	0.999
ПК-HisOMe	83.3	0.032	0.999

Модель псевдо-второго порядка с высоким коэффициентом корреляции описывает кинетику десорбции I_3^- из всех исследованных материалов, что подтверждает доминирование химического взаимодействия в механизме связывания трийодид-ионов. Среди

модифицированных образцов ПК-His обладает наивысшей равновесной сорбционной ёмкостью и наибольшей начальной скоростью сорбции, что делает его наиболее перспективным для применения в качестве носителя для пролонгированного высвобождения йода.

Таким образом, модель псевдо-второго порядка достоверно описывает кинетику десорбции I_3^- из всех исследованных образцов ($R^2 > 0.99$), что подтверждает преобладание химической сорбции в механизме связывания трийодид-ионов с пектиновой матрицей.

Список литературы

1. Zhukova G.F., Savchik S.A., Khotimchenko S.A.// Microelements in medicine. 2004. Vol.5. N 1. P. 7.
 2. Sherer T., Thrall K., Bull R.// Journal of Toxicology and Environmental Health. 1991. Vol. 32. P. 89. doi: 10.1080/15287399109531467.
 3. Tashiro K., Takahama T., Wang M.F.// Polymer. 2021. Vol. 233. P. 124180. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2021.124180>
 4. Gillam T.A., Goh C.K., Ninan N., Bilimoria K., Shirazi H.S., Saboohi S., Al-Bataineh S., Whittle J., Blencowe A. // Applied Surface Science. 2021. Vol. 537. P. 147866. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.147866>
 5. Машковский М.Д. Лекарственные средства. М.: Медицина, 1984. Т.2. М. D. Mashkovsky. Medicines. M.: Medicine, 1984. Vol. 2. 405 p.
- © Вахитова А.Ф., Мударисова Р.Х., Мустафин Р.А.,
Артемова А.А., 2026

УДК 669

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЩЕЛОЧНОГО МЕТОДА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦИНКА ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Власова А.И., Каримова Э.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Цинк относится к стратегическим металлам, применяемым в металлургии, электронике и медицине. Среди его соединений тетрагидроксоцинкат(II) натрия $Na_2[Zn(OH)_4]$ является ключевым промежуточным продуктом при гидрометаллургическом извлечении цинка из руд и вторичного сырья, а также активным компонентом щелочных электролитов [1].

В условиях растущего дефицита первичных руд и ужесточения экологических требований особую актуальность приобретает переработка техногенных отходов, в том числе пыли электродуговых печей состава (% мас.): 20–30 ZnO, 30–40 Fe_2O_3 , а также SiO_2 , CaO, PbO, CdO [2].

Традиционные кислотные методы (сернокислотное выщелачивание) неселективны и переводят в раствор наряду с цинком значительные количества железа, что требует дорогостоящей очистки. Альтернативный

щелочной метод, основанный на переводе цинка в $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$, позволяет решить проблему селективности, поскольку оксиды железа в щелочной среде нерастворимы [3].

Состав образующихся комплексов регулируется концентрацией NaOH и температурой: в разбавленных растворах при 25–50 °С преимущественно формируется $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$, тогда как повышение указанных параметров сдвигает равновесие в сторону дегидратации с образованием метацинка Na_2ZnO_2 . Управление соотношением этих форм является критическим фактором как для осадительного синтеза наноразмерного ZnO , так и для технологических режимов выщелачивания [4].

Основным барьером практической реализации метода является присутствие SiO_2 , приводящее к гелеобразованию и ухудшению фильтрации. Применяемые для его подавления низкотемпературный режим (20–30 °С), оптимизация концентрации NaOH (4–6 моль/л), ингибиторы (добавки солей Al/Mg 0,1–0,5 мас.%) и стадийное выщелачивание позволяют минимизировать переход кремния в раствор и достичь извлечения цинка до 95% при соблюдении Ж:Т $\geq 5:1$ [5].

Таким образом, щелочной метод с использованием $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$ представляет собой перспективную альтернативу кислотному выщелачиванию, обеспечивающую высокую селективность и экологическую безопасность при переработке техногенных отходов.

Список литературы

1. Способ получения оксида цинка из техногенного сырья: патент на изобретение № RU 2221063 С2 / В.П. Казанцев, Ю.П. Кудрявский, В.С. Анашкин; заявитель ООО Научно-производственная экологическая фирма «ЭКО-технология». – 2004. – 10 с.
2. Топоркова Ю.И., Блудова Д., Мамяченков С.В., Анисимова О.С. Обзор методов переработки пылей электродуговой плавки // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2021. – Т. 25, № 5. – С. 643–680.
3. Попов А.А. К вопросу проблемы утилизации цинксодержащей пыли сталеплавильных производств // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2015. – Т. 7, № 2. – С. 1–10.
4. Камалов К.О., Ахмаров Ф.И., Чикишев С.А. Исследование растворимости оксида цинка в растворах гидроксида натрия // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. – 2022. – Т. 13, № 1. – С. 108–111.
5. Козлов П.А., Паньшин А.М., Якорнов С.А., Ивакин Д.А. Исследование поведения цинка и примесей при щелочном выщелачивании цинксодержащего продукта пирометаллургической переработки пылей чёрной металлургии и фазового состава остатка после выщелачивания // Цветные металлы. – 2021. – № 3. – С. 52–58.

© Власова А.И., Каримова Э.Р., 2026

РОЛЬ АЦЕТИЛТРАНСФЕРАЗ ПОЛИСАХАРИДОВ В ИММУННОМ
ОТВЕТЕ ПШЕНИЦЫ НА ВОЗБУДИТЕЛЯ СЕПТОРИОЗА

PARASTAGONOSPORA NODORUM

Воротник И.С., Максимов И.В.

*Уфимский федеральный исследовательский центр РАН, Институт
биохимии и генетики, лаборатория биохимии иммунитета растений,
Уфа, Россия*

Септориоз пшеницы (*Parastagonospora nodorum*) вызывает потери урожая до 30–50%. Химическая защита экологически небезопасна, а полигенная устойчивость сортов часто преодолевается патогеном [1]. Клеточная стенка - не пассивный барьер, а динамическая сигнальная платформа. Посттрансляционное ацетилирование/деацетилирование полисахаридов (ксилана, хитина) определяет прочность стенки, устойчивость к гидролазам и генерацию элиситоров. Роль ацетилтрансфераз полисахаридов пшеницы в ответе на *P. nodorum* изучена недостаточно.

Целью было систематизация данных о значении ацетилтрансфераз полисахаридов в фитоиммунитете пшеницы при септориозе.

Основные результаты:

1. Ацетилирование хитина как ключевой фактор РТІ-ответа.

Ацетилированные хитоолигосахариды (степень ацетилирования 65%) индуцируют у пшеницы экспрессию анионной пероксидазы и ингибиторов протеиназ, укрепляя клеточную стенку и подавляя грибные протеазы. Деацетилированные формы неэффективны.

У восприимчивых сортов *P. nodorum* с помощью хитин-деацетилаз снижает ацетилирование хитина, уходя от распознавания. У устойчивых сортов, напротив, повышается ацетилирование хитозана - косвенное доказательство активности растительных хитин/хитозан-ацетилтрансфераз.

2. О-ацетилирование ксилана (семейство TBL/ESK1) - регуляция структурной целостности и сигналинга.

У злаков TBL-ацетилтрансферазы (например, у риса и кукурузы) необходимы для устойчивости к патогенам. Дефицит ацетилирования ксилана воспринимается как DAMP-сигнал, запускающий компенсаторную активацию защитных генов через абсцизовую кислоту. У пшеницы предполагается аналогичная роль ESK1-подобных белков в ответе на *P. nodorum*.

3. Связь с ацетилированием белков и эпигенетикой.

У пшеницы гистоновые ацетилтрансферазы (например, TaHAG1) регулируют экспрессию генов устойчивости. Ацетилирование транскрипционных факторов усиливает защитный ответ. Предполагается, что элиситорный сигнал от ацетилированных хитоолигосахаридов может

транслироваться в эпигенетическую активацию генов самих полисахарид-ацетилтрансфераз.

Баланс ацетилирования хитина и ксилана в зоне инфекции - критический фактор, определяющий исход взаимодействия пшеницы с *P. nodorum*. Ацетилтрансферазы полисахаридов выполняют двойную функцию: укрепляют клеточную стенку и модулируют иммунный сигналинг.

Ацетилированные хитоолигосахариды - перспективная основа для иммуномодуляторов. Гены TBL/ESK1 и предполагаемые хитин-ацетилтрансферазы - мишени для маркер-ориентированной селекции и геномного редактирования.

Перспективы: идентификация конкретных генов ацетилтрансфераз пшеницы, отвечающих на инфекцию *P. nodorum*, расшифровка их субстратной специфичности и регуляции (включая посттрансляционную модификацию), изучение перекрёстных связей с гормональными и эпигенетическими путями.

Список литературы

1. Ficke, A., Cowger, C., Bergstrom, G., Inglis, D., Gent, D., Esker, P., Stein, J. Understanding yield loss and pathogen biology to improve disease management: Septoria nodorum blotch of wheat // Plant Disease. – 2018. – V. 102(12). – P. 2471–2484.

© Воротник И.С., Максимов И.В., 2026

УДК 556.04

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ВОД РОДНИКОВ г. БЛАГОВЕЩЕНСК

Гареев С.М.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Обеспечение населения качественной питьевой водой является приоритетной задачей политики устойчивого развития в сфере экологии и здравоохранения. В условиях техногенной нагрузки на окружающую среду возникает риск несоответствия воды гигиеническим нормативам. В настоящей работе проанализированы природные воды из источников г. Благовещенск: источник Св.Креста, родник Надежда, родник Благовещенский, воду из которых население использует как питьевую.

Пробы вод проанализированы по 21 показателю, определяющих их качество. Анализ проведенных испытаний с сопоставлением контролируемых показателей качества образцов питьевой воды позволило выявить превышение некоторых предельных значений.

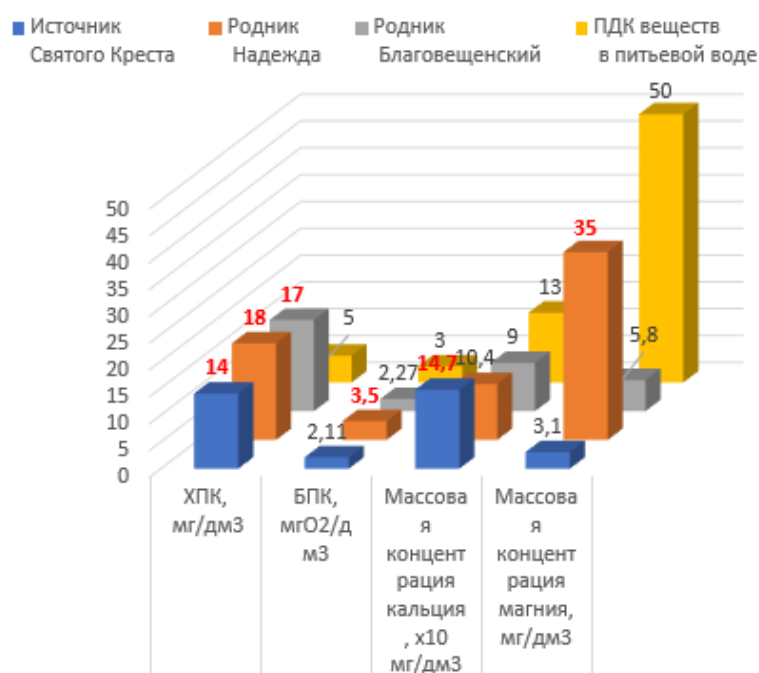


Рис.1. Показатели ХПК, БПК, массовой концентрации кальция и магния природных источников питьевой воды.

Содержание кальция превышено в источнике Св.Креста, вода имеет повышенную жесткость. Во всех трёх родниках наблюдается повышенное содержание органических веществ (ХПК и БПК превышают нормативы в 2–4 раза). Это создаёт риск вторичного микробного загрязнения при хранении воды, ухудшения органолептических свойств и требует внедрения дополнительных методов очистки (сорбция, мягкое окисление, фильтрация).

© Гареев С.М., 2026

УДК 666.76

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Губайдуллин С.Р., Балашов И.А., Фаздалова И.Р.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Создание и долговременная эксплуатация материалов, способных выдерживать экстремальные термические и механические нагрузки, требует глубокого понимания фундаментальных процессов, протекающих на микроуровне при их формировании и старении. Традиционные методы проектирования огнеупорных изделий и агрегатов для их обработки все чаще уступают место комплексным подходам, объединяющим знания о наноструктурных превращениях, кинетике химических реакций при низких температурах и точных математических моделях теплопереноса. Такой синтез позволяет не только создавать материалы с уникальными

свойствами, но и точно прогнозировать их поведение в реальных условиях работы, что критически важно для металлургической, энергетической и космической отраслей.

Процесс формирования прочной структуры композиционных материалов на основе неорганических связующих кардинально отличается от классического высокотемпературного спекания. При умеренном нагреве до ста пятидесяти градусов происходит сложная трансформация алюмофосфатных систем, которая определяет конечные механические характеристики изделия. На начальной стадии, при температурах до восьмидесяти градусов, упрочнение идет крайне медленно, и прочность не превышает долей мегапаскаля, что недостаточно для технологических операций. Однако перешагивание температурного порога в девяносто градусов приводит к резкому скачку прочности выше одного мегапаскаля всего за пару часов, что открывает возможности для быстрой механической обработки и дальнейшего формообразования [1]. Физико-химическая природа этого явления кроется в процессах поликонденсации и мицеллообразования: ионы алюминия и ортофосфатные группы сначала объединяются в длинные цепочки макромолекул, которые затем агрегируют в заряженные кластеры размером от тридцати пяти до семидесяти девяти нанометров. Эти наноразмерные образования выстраиваются в прочный каркас, формирующий коллоидную систему, что и обеспечивает быстрое твердение без необходимости многочасового выпаривания влаги.

После того как материал сформирован и приобрел необходимую прочность, он должен быть помещен в агрегат, способный обеспечить требуемый термический режим. Проектирование таких агрегатов, работающих при температурах, приближающихся к двум тысячам градусов, сталкивается с серьезными трудностями, поскольку классические линейные модели теплопроводности здесь полностью перестают работать. При сверхвысоких температурах в новых корундовых изоляторах начинает доминировать фотонный механизм передачи тепла над фононным, что приводит к росту коэффициента теплопроводности не по прямой, а по квадратичной зависимости от температуры [2]. Это фундаментальное обстоятельство требует создания сложной многослойной теплоизоляции, где каждый слой выполняет свою функцию: внутренний мелкопористый корундовый слой выдерживает прямой контакт с высокотемпературной зоной, средний крупнопористый обеспечивает основной перепад температур, а наружный слой из кремниевых нитей завершает термоизоляцию. Точное математическое моделирование таких систем с учетом квадратичной нелинейности позволяет рассчитать оптимальную толщину каждого слоя с точностью до миллиметра, что гарантирует стабильность температурного режима, исключает локальные перегревы и обеспечивает плавное автоматическое управление мощностью нагревателей в реальном времени.

Но даже идеально спроектированный агрегат с правильно подобранными материалами со временем неизбежно подвергается деградации, и вопрос точного прогнозирования остаточного ресурса становится ключевым для обеспечения безопасности и экономической эффективности. Глубинное понимание процессов старения огнеупоров требует обращения к самым фундаментальным уровням организации вещества. Зернистая структура поликристаллических оксидов алюминия, магния и циркония оказывается не просто случайным набором кристаллитов, а сложной квантовой системой, описываемой спинорной волновой функцией [3]. Там, где квадрат этой функции максимален, атомы выстраиваются в упорядоченную кристаллическую решетку, а там, где он минимален, образуются стекловидные межзерновые области и микрокаверны. Термодинамические силы, стремящиеся минимизировать энергию Гиббса, постоянно подталкивают зерна к росту, и при достижении ими своих теоретических квантовых максимумов межзерновые пустоты разрастаются до критических размеров. Именно эти микроскопические дефекты при малейших внешних нагрузках превращаются в микротрещины, необратимо разрушая материал изнутри. Точные квантовые формулы, учитывающие всю историю изготовления и эксплуатации, запечатленную в зернистой структуре, позволяют с высочайшей точностью предсказывать остаточный ресурс футеровки печей и других нагруженных элементов просто по микрофотографии опасного участка.

Таким образом, современный подход к созданию высокотемпературных технологий представляет собой замкнутый цикл, где квантовая механика микромира напрямую определяет макроскопические свойства материала и условия его долговременной эксплуатации. Понимание того, как фрактальные кластеры формируют прочность при щадящих температурах, как квадратичная нелинейность теплопроводности диктует структуру изоляции печи, и как квантовые переходы определяют неизбежное старение кристаллитов, позволяет инженерам не просто эмпирически подбирать составы, а целенаправленно конструировать материалы и агрегаты, работающие на пределе возможных температур, но всегда в рамках предсказуемой физики. Такой фундаментально обоснованный подход обеспечивает создание конкурентоспособных отечественных решений для самых экстремальных условий современной промышленности.

Список литературы

1. Shayakhmetov, A. U. Technology of reaction bonded silicon carbide (SiC) products / A. U. Shayakhmetov, M. Li, U. Sh. Shayakhmetov // Новые технологии в материаловедении : материалы I научно-практической конференции с международным участием / отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. – 2015. – С. 13..

2. Захаров А.В., Шаяхметов У.Ш., Ахметшина Г.Г. Расчет высокотемпературной муфельной печи с новыми теплоизоляционными материалами // Вестник Башкирского университета. 2017. Т. 22. №4. С. 996-1000.

3. Захаров А.В., Шаяхметов У.Ш., Батршина Г.С. Квантовая теория долговечности огнеупоров // Промышленные процессы и технологии. 2024. Т. 4. № 2(12). С. 60-66.

© Губайдуллин С.Р., Балашов И.А., Фаздалова И.Р., 2026

УДК 666.3

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ОЦЕНКЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ И ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Губайдуллин С.Р., Фаздалова И.Р., Дельмухаметов А.А
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Фундаментальные подходы к оценке срока службы материалов, эксплуатируемых при экстремальных температурных режимах, приближающихся к двум тысячам градусов, требуют отказа от эмпирических методов в пользу строгих математических моделей. Глубинные физические закономерности поведения микроструктуры поликристаллических систем на основе оксидов алюминия, магния и циркония позволяют прогнозировать их неизбежное старение и остаточный ресурс с высочайшей точностью. Зернистая структура таких композитов представляет собой сложную систему, где зоны с максимальной плотностью вероятности образования химических связей формируют кристаллическую решетку, а области с минимальными значениями способствуют возникновению стекловидных фаз и микрокаверн. Энергетическое состояние системы стремится к минимуму, что термодинамически обуславливает непрерывный рост кристаллитов. При достижении критических размеров зерен межзерновые пустоты и скопления дефектов трансформируются в микротрещины под действием внешних нагрузок, что и определяет конечный момент разрушения футеровки. Точные математические зависимости, учитывающие историю изготовления и термодинамические силы перестройки структуры, дают возможность рассчитывать скорость рекристаллизации и предсказывать долговечность нагруженных элементов тепловых агрегатов [1].

Прежде чем высокотемпературные композиты смогут демонстрировать свою структурную стойкость, их необходимо сформировать, и традиционные методы длительной сушки здесь оказываются крайне неэффективными. Настоящий прорыв в скорости формообразования достигается за счет управления низкотемпературными физико-химическими процессами в алюмофосфатных системах. При

нагревании смесей на основе оксида алюминия и фосфорной кислоты в интервале температур от пятидесяти до ста пятидесяти градусов происходит сложная трансформация полимерных гидрофосфатов. До достижения порога в восемьдесят градусов прочность формируется крайне медленно, однако последующий нагрев вплоть до ста десяти градусов обеспечивает резкий скачок механических характеристик, достаточных для дальнейшей обработки. Ускоренное твердение обусловлено процессами поликонденсации и агрегации наноразмерных кластеров, когда ионы металла и кислотные остатки сначала выстраиваются в макромолекулы, а затем объединяются в мицеллы, формируя прочный каркас. Управление гелеобразованием на микроуровне позволяет выстраивать заряженные частицы в единую несущую структуру, полностью исключая необходимость многочасового выпаривания влаги в энергоемких сушильных камерах [2].

Понимание поведения ультрадисперсных систем при длительном нагреве под механической нагрузкой является ключом к созданию надежной футеровки для энергетических и металлургических комплексов. Анализ деформационных процессов в композициях на основе тонкомолотого оксида алюминия и фосфорных кислот выявляет наличие двух принципиально различных температурных зон, характер которых напрямую зависит от предварительной термической обработки. При температурах выше тысячи градусов наблюдается активизация механизма взаимного проскальзывания структурных элементов, что обусловлено образованием легкоплавкой прослойки на контактах зерен. Несмотря на то, что выделение летучих компонентов и образование аморфных фаз временно снижает вязкость межзеренного пространства, последующая кристаллизация фосфатов приводит к резкому повышению когезионной прочности и полной стабилизации формы. Эти фундаментальные закономерности эволюции структуры позволили разработать ряд практических решений, включая высокотемпературные обмазочные массы и жаростойкие бетоны, которые успешно защищают агрегаты от экстремальных термических и химических воздействий [3].

Особое внимание при создании композитов для металлургического производства уделяется подбору углеродсодержащего сырья, поскольку именно от него зависят шлакоустойчивость и способность материала противостоять расплавам. Сравнение традиционного технического углерода и природного сланцевого таурита демонстрирует, что использование последнего обеспечивает существенно более высокие показатели механической прочности и термомеханической стойкости. Изделия, сформированные с применением таурита и неорганических вяжущих, не только успешно выдерживают жесткие условия эксплуатации в печах, но и по ряду эксплуатационных характеристик превосходят зарубежные аналоги, что подтверждено успешными промышленными испытаниями футеровок сталеплавильных агрегатов [4].

Совершенствование процессов непрерывной разливки металла неразрывно связано с необходимостью создания надежных элементов оснастки, таких как стопорные пробки и стаканы-дозаторы, которые работают в прямом контакте с жидкой сталью. Внедрение инновационных подходов на базе неорганических связующих позволяет радикально пересмотреть саму концепцию производства таких изделий. Вместо многодневной сушки и высокотемпературного обжига, традиционная технология заменяется на поточный процесс, где текучая суспензия заполняет сложные формы и отверждается за пару часов при относительно низких температурах. Автоматизированные линии с точным дозированием компонентов и компьютерным управлением обеспечивают стабильное качество каждой партии стопорных пробок, гарантируя их геометрическую точность и теплофизическую стабильность в условиях агрессивной металлургической среды [5].

Завершающим этапом интеграции новых материалов является проектирование самих тепловых агрегатов, где они будут функционировать. Классические инженерные методы расчета изоляции перестают работать при температурах, превышающих тысячу градусов, поскольку теплопроводность современных корундовых изоляторов начинает расти не линейно, а по квадратичному закону из-за доминирования фотонного механизма передачи энергии. Точное математическое моделирование трехслойной структуры теплоизоляции с учетом этой нелинейной зависимости позволяет оптимально подбирать толщину мелкопористых и крупнопористых плит, а также кремниевых нитей. Такой подход гарантирует жесткий контроль теплового потока, исключает локальные перегревы и обеспечивает возможность встраивания печи в системы автоматического компьютерного управления, где мощность нагревателей плавно подстраивается под стационарный режим с высокой точностью [6].

Список литературы

1. Бакунов, В. С. Изменения структуры при нагревании и высокотемпературная деформация композитов на основе пиропфиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау / В. С. Бакунов, А. Р. Мурзакова, У. Ш. Шаяхметов, Р. У. Шаяхметов, Л. В. Якупова // Стекло и керамика. – 2013. – № 1. – С. 24–28.
2. Шаяхметов, У. Ш. Эффективная многофункциональная наноструктурированная композиционная керамика / У. Ш. Шаяхметов, А. Р. Мурзакова // Новые огнеупоры. – 2014. – № 2. – С. 19–21.
3. Стеновые изделия на основе фосфогипса / У. Ш. Шаяхметов, А. Г. Мустафин, В. В. Бабков, И. В. Недосеко, З. Ф. Кагирова // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. – 2008. – Т. 13, № 2. – С. 29–30.
4. Шаяхметов, У. Ш. О керамическом материаловедении / У. Ш. Шаяхметов // Новые технологии в материаловедении: материалы I научно-

практической конференции с международным участием / отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. – 2015. – С. 8–11.

5. Shayakhmetov, A. U. Technology of reaction bonded silicon carbide (SiC) products / A. U. Shayakhmetov, M. Li, U. Sh. Shayakhmetov // Новые технологии в материаловедении: материалы I научно-практической конференции с международным участием / отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. – 2015. – С. 13.

6. Шаяхметов, У. Ш. Пиропфиллитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Тау как сырье для керамической промышленности / У. Ш. Шаяхметов, Г. Х. Янышева, Л. У. Киеккужина, В. С. Третьякова // Современные технологии композиционных материалов : материалы II научно-практической молодежной конференции с международным участием / отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. – 2016. – С. 189–190.

© Губайдуллин С.Р., Фаздалова И.Р., Дельмухаметов А.А., 2026

УДК 620.3:546.22

КИНЕТИКА СИНТЕЗА, КОЛЛОИДНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ И СТРУКТУРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ СЕРА/КАРБОНАТЫ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

Дельмухаметов А.А., Фаздалова И.Р., Самсонов М.Р.,
Файзрахманов И.С., Насретдинов Д.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Получение функциональных наноматериалов на основе элементарной серы и неорганических карбонатов представляет значительный интерес для химии дисперсных систем, материаловедения и агропромышленного комплекса. Традиционные методы синтеза наносеры, как правило, генерируют монокомпонентные системы, однако совместное осаждение разнородных фаз открывает перспективы создания гетерогенных наноконкомпозитов с синергетическими поверхностными и объёмными свойствами [1, 2]. В настоящей работе систематизированы и дополнены данные по двум принципиально разным маршрутам получения наносеры из полисульфидных матриц: барботированию диоксидом углерода и кислотному осаждению. Особое внимание уделено кинетике зародышеобразования, механизмам коллоидной стабилизации с применением поверхностно-активных веществ и низкомолекулярных спиртов, а также структурно-морфологической верификации синтезированных фаз.

Синтез полисульфида кальция осуществляли взаимодействием гидроксида кальция и элементной серы в водной среде при 100 °С и атмосферном давлении согласно стехиометрии:



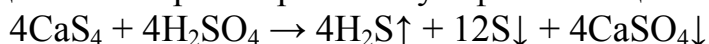
Для получения нанокомпозитов сера/карбонат применяли два метода: (1) барботирование CO_2 через растворы полисульфидов щелочноземельных металлов (MeS_x , $\text{Me} = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$; $x \geq 3$) в присутствии 0,5 мас. % неонола; (2) кислотное осаждение из водного раствора полисульфида кальция неорганическими (HCl , HNO_3 , H_2SO_4) и органическими (лимонная, муравьиная, винная и др.) кислотами концентрацией 5–30 мас. %. Динамику размерного распределения частиц контролировали *in situ* методом лазерной дифракции (Shimadzu SALD-7101, диапазон 10 нм–300 мкм). Морфологию исследовали атомно-силовой микроскопией (ACM, Solver PRO-M), кристаллическую структуру идентифицировали рентгенофазовым анализом (Rigaku Ultima IV) и ИК-Фурье-спектроскопией (Vector 22). Гидрофобные свойства оценивали по статическому краевому углу смачивания на поверхности уплотнённых порошков.

Установлено, что первичная нуклеация в обеих системах протекает с образованием монодисперсных зародышей серы диаметром ≈ 20 нм и карбонатов ≈ 25 нм. В отсутствие стабилизирующих компонентов дисперсия проявляет выраженную термодинамическую неустойчивость, реализуя двухстадийный процесс агрегирования. Первая стадия характеризуется диффузионно-лимитированной кластерной агрегацией (DLCA) с формированием рыхлых субмикронных конгломератов (50–300 нм) в течение 5–15 мин. Вторая стадия переходит в реакционно-контролируемый режим (RLCA), приводящий к консолидации агрегатов до микронных фракций (10–170 мкм) за 5–7 ч. Внешнее ультразвуковое воздействие (22 кГц) полностью разрушает вторичные структуры, восстанавливая первичный наноразмерный режим, что свидетельствует о слабом характере межчастичных связей (преимущественно ван-дер-ваальсовых) [3].

Введение 0,5 мас. % неионогенного ПАВ (неонола) в полисульфидный раствор кардинально изменяет кинетический профиль. Молекулы ПАВ адсорбируются на поверхности зарождающихся частиц, формируя полиэтиленгликолевый слой толщиной 3–5 нм, который создаёт комбинированный стерический и электростатический барьер. В результате дисперсия сохраняет монодисперсность в течение более 10 ч без признаков коагуляции. Аналогичная стабилизация наблюдается при использовании низкомолекулярных спиртов в качестве дисперсионных сред. Экспериментально доказано, что пропиловый и изопропиловый спирты обеспечивают наиболее эффективную диспергацию: максимум распределения смещается в область 23 и 33 нм соответственно, а верхняя граница размеров не превышает 64 нм. Этиловый спирт демонстрирует менее выраженную стабилизацию (модальный размер ≈ 72 нм), тогда как метиловый спирт при высокой кислотной нагрузке инициирует резкую агрегацию. Оптимальная коллоидная стабильность достигается при

введении 3–5 мас. % метилового или пропилового спиртов, что сохраняет средний размер ≈ 20 нм на протяжении 5–6 ч [4–6].

При кислотном осаждении размер частиц жёстко контролируется природой и концентрацией протонного донора. Азотная и соляная кислоты при концентрациях 5 и 15 мас. % обеспечивают формирование фракции ~ 20 нм, тогда как повышение концентрации до 20–30 % индуцирует ускорение пересыщения и переход к диффузионно-лимитированному росту (90–340 нм). Серная кислота демонстрирует принципиально иное поведение: наряду с высвобождением серы происходит одновременное осаждение малорастворимого сульфата кальция:



Это приводит к формированию гетерогенных микронных агрегатов. Органические кислоты (лимонная, муравьиная, 10 мас. %) позволяют осуществлять более мягкое регулирование процесса благодаря комплексообразующей способности, замедляющей коалесценцию зародышей за счёт электростатического отталкивания [7, 8].

Структурная идентификация методом РФА подтверждает сохранение орторомбической сингонии α -S₈ для серы и кристаллизацию карбонатов в термодинамически устойчивых полиморфах: кальцит (CaCO₃), виверит (BaCO₃) и стронцианит (SrCO₃). ИК-Фурье-спектроскопия дополнительно верифицирует структурную идентичность: в спектрах нанокarbonатов регистрируются характерные колебательные моды карбонат-иона (асимметричные деформационные ≈ 701 – 704 см⁻¹, симметричные деформационные 868–873 см⁻¹, валентные C–O 1421–1470 см⁻¹). АСМ-визуализация показывает квазисферическую морфологию наночастиц со средним диаметром ≈ 50 нм, что качественно коррелирует с данными лазерной дифракции [9].

Примечательным эффектом является инверсия смачиваемости: исходно гидрофильный кальцит приобретает выраженные гидрофобные свойства (краевой угол $147^\circ \pm 3^\circ$) после совместного осаждения с серой в присутствии неолола. Аналогичная картина наблюдается для чистой наносеры ($140^\circ \pm 3^\circ$) и композита S/CaCO₃ ($133^\circ \pm 3^\circ$). Механизм гидрофобизации объясняется ориентированной адсорбцией молекул ПАВ, где гидрофильные полиэтиленгликолевые фрагменты взаимодействуют с полярными центрами неорганического ядра, а гидрофобные алкильные цепи формируют мономолекулярный экран, снижающий поверхностную энергию и препятствующий коагуляции в водной среде [10–12].

Разработана и экспериментально верифицирована методика получения наноразмерной серы и нанокомпозитов S/MeCO₃ осаждением из полисульфидных систем. Установлено, что размер частиц контролируется природой и концентрацией кислот-осадителей, а коллоидная стабильность обеспечивается адсорбцией неолола или введением 3–5 % пропилового/метиловых спиртов. Наноструктурирование не индуцирует фазовых превращений, но способствует формированию устойчивых

полиморфных модификаций карбонатов и гидрофобизации поверхностей за счёт ориентированной адсорбции органических лигандов. Полученные кинетические и структурные закономерности создают теоретическую базу для масштабирования синтеза функциональных нанокомпозитов с заданными дисперсионными и поверхностными характеристиками [12].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-26-00767)

Список литературы

1. Altavilla C., Ciliberto E. Inorganic Nanoparticles: Synthesis, Applications, and Perspectives. Boca Raton: CRC Press, 2011. 312 с.
2. Nanoparticles: Synthesis, Characterization and Applications / Ed. by R.S. Chaughule, R.V. Ramanujan. Valencia: American Scientific Publ., 2010. 284 с.
3. Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Массалимов Б.И., Ильясова Р.Р., Мустафин А.Г. Химическое осаждение наночастиц серы в водно-органических средах // Бутлеровские сообщения. 2023. Т. 75. № 8. С. 48-59.
4. Chaudhuri R.G., Paria S. Growth kinetics of sulfur nanoparticles in aqueous surfactant solutions // J. Colloid Interface Sci. 2011. V. 354. P. 563–569.
5. Guo Y., Zhao J., Yang S. et al. Preparation and characterization of monoclinic sulfur nanoparticles by water-in-oil microemulsions technique // Powder Technology. 2006. V. 162. № 2. P. 83–86.
6. Фархутдинов Р.Г., Федяев В.В., Ахметшин Б.С., Гарипова М.И., Уфимцева М.Г. Влияние обработок препаратом на основе полисульфида кальция на всхожесть семян и урожайность растений пшеницы // Аграрный вестник Урала. 2020. № 4 (195). С. 38-46.
7. Сангалов Ю.А., Карчевский С.Г., Теляшев Р.Г. Элементная сера. Состояние проблемы и направления развития. Уфа: Изд-во ГУП ИНХП РБ, 2010. 136 с.
8. Чуйкин А.Е., Сафина О.М., Мансуров Т.В. и др. Опыт производства и использования мелкоштучных дорожных вибропрессованных бетонных изделий // Строительные материалы. 2003. № 10. С. 28–29.
9. Уракаев Ф.Х., Булавченко А.И., Уралбеков Б.М. и др. Наноразмерная сера: методы синтеза и биологическая активность // Коллоид. журн. 2016. Т. 78. № 2. С. 193–201.
10. Boyjoo Y., Pareek V.K., Liu J. Synthesis and applications of nano- CaCO_3 // J. Mater. Chem. A. 2014. V. 2. P. 14270–14288.
11. Du L., Wang Y., Luo G. Hydrophobic modification of CaCO_3 nanoparticles // Particuology. 2013. V. 11. P. 421–427.
12. Массалимов И.А., Чуйкин А.Е., Массалимов Б.И. и др. Гидрофобизация карбонатных пород полисульфидными системами // Нанотехнологии в строительстве. 2017. Т. 9. С. 66–72.

© Дельмухаметов А.А., Фаздалова И.Р., Самсонов М.Р.,
Файзрахманов И.С., Насретдинов Д.Р., 2026

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ФЛАВОНОИДНОГО ЭКСТРАКТА
ИЗ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA*)Дидух М.Ю.¹, Ямансарова Э.Т.¹, Зворыгина О.Б.²¹ ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Уфа, Россия² ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия

Береза повислая (*Betula pendula*), является одним из распространенных ботанических видов и произрастает повсеместно на территории России, в том числе в РБ. Листья березы повислой (*Betula pendula*) имеют разнообразный состав экстрактивных веществ и оказывают выраженное фармакологическое действие. Фитохимия давно обратила свое внимание на это растение, так как оно очень богато биологическими активными веществами разнообразного спектра активности. Водные экстракты проявляют желчегонную, гепатопротекторную активность, диуретическую. Кроме того, они обладают антибактериальным, противогрибковым и противовоспалительным эффектом. Такое разнообразное действие обусловлено наличием в листьях полифенольных соединений – флавоноидов, проатоцианидинов, оксикоричных кислот. Кроме того, в литературе имеются сведения об обнаружении в березе и хмеле пренилированных производных флавоноидов, которые сочетают в себе свойства обеих групп природных соединений [1]. Листья березы повислой разрешены к применению в Российской Федерации в качестве лекарственного растительного сырья и выпускаются как ведущими фармпредприятиями, например, АО «Красногорсклексредства», так и региональными производителями.

Целью данной работы являлось изучение фракционного состава флавоноидов древесной зелени березы повислой, полученных с помощью двухфазной экстракции в системе «органический растворитель-спирт».

Эффективность извлечения флавоноидов из растительного сырья критически зависит от выбора экстрагента, гидромодуля, времени и температуры. Согласно литературным данным, наибольшей извлекающей способностью по отношению к полифенольным соединениям обладают водно-спиртовые растворы различной концентрации. Для березы повислой оптимальной часто является концентрация этанола 40–70%, что связано с максимальной степенью набухания клеточных стенок и переходом как свободных флавоноидов, так и их гликозидов.

Экстракцию флавоноидов проводили по методике, описанной в [2] при соотношении сырья: экстрагента 1:20 при комнатной температуре в течение 30 минут при перемешивании. В качестве экстрагентов использовали двухфазную систему, состоящую из равных объемов 40%-ного водного этанола и бензола, хлороформа или этилацетата. Экстракцию

проводили в соотношении, сырьё: растворитель (1:10:10). Время экстракции составило 90 минут.

Содержание флавоноидов определяли фотометрически относительно рутина по его реакции комплексообразования с хлористым алюминием при $\lambda_{\max} = 400$ нм. Содержание флавоноидов рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{DK^V}{m} * \frac{m_s}{D_s K_s^V} * \frac{100}{100-W} * 100, \text{ где}$$

D_s – оптическая плотность раствора ГСО рутина;

m – масса сырья, г;

m_s – масса ГСО рутина, г;

K^V – коэффициент разбавления исследуемого раствора (1250);

K_s^V – коэффициент разбавления раствора ГСО рутина (2500);

W – потеря в массе при высушивании сырья, %.

Результаты по определению выхода флавоноидной фракции приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты извлечения флавоноидов из листьев березы двухфазной системой экстрагентов

Спиртовая фаза EtOH 40% +	Содержание флавоноидов в экстракте (X, %)		
	Спиртовая фаза	Гидрофобная фаза	Суммарный выход флавоноидов
Петролейный эфир	3.12	1.04	4.16
Бензол	19.47	3.96	23.43
Хлороформ	18.31	3.51	21.82
Этилацетат	16.77	6.45	23.22

Во всех извлечениях обнаруживались кверцетин и рутин, а также неидентифицированная фракция малополярных флавоноидов.

Исходя из таблицы 1 видно, что максимальное содержание флавоноидов наблюдается в экстрактах, в которых гидрофобной фазой являлись бензол, хлороформ и этилацетат. Суммарные выходы при этом составили 23%. Для системы этанол + бензол и этанол + хлороформ часть флавоноидов переходит в гидрофобную фазу и их содержание составляет ~4% в гидрофобной фазе. Еще лучше результат оказался для системы этанол + этилацетат. Известно, что растворимость кверцетина в этилацетате выше, чем в спиртах, то и выход гидрофобной фракции закономерно повысился. Примечательно, что эти растворители с одинаковой степенью извлекают флавоноиды и происходит равномерное распределение извлечения между двух фаз. Суммарный выход составил ~23%.

Для определения группового состава были проведены качественные реакции на флавоноиды, извлекаемые из древесной зелени березы повислой в разных условиях (спирт + хлороформ; спирт + этилацетат;

спирт + бензол): цианидиновая проба, реакция с водным раствором среднего ацетата свинца, 1%-ванилин в концентрированной серной кислоте. Кроме этого, наличие индивидуальных соединений подтверждено с помощью УФ-спектроскопии сравнением максимумов поглощения индивидуальных соединений со спектрами суммарных экстрактов и с помощью аналитической тонкослойной хроматографии. Ее проводили на пластинах Sorbfil, элюент – бутанол:ледяная уксусная кислота:вода, в соотношении 4:2:1, проявитель – пары йода, концентрированный аммиак. Для контрастирования пятен на ТСХ использовали также флюоресценцию в ультрафиолете при 360 нм.

Таблица 2

Качественные реакции флавоноидов, выделенных из березы повислой при использовании двухфазной экстракции в отсутствие ультразвукового облучения

Экстрагент	Фракции	HCl	HCl+Mg	Pb (CH ₃ COO) ₂	1%ванилин в H ₂ SO ₄
EtOH 40% + Хлороформ	Спиртовая	Флавоны, флавонолы	Флавоны	Флавоноиды содержащие свободные орто-гидроксильные группы в 3'4'-положениях кольца	Флавоны, флавонолы, флаван-3,4-диолы
	Гидрофобная	Флавоны, флавонолы			
EtOH 40% + Бензол	Спиртовая	Флавоны, флавонолы			
	Гидрофобная	Флавоны, флавонолы			
EtOH 40% + Этилацетат	Спиртовая	Флавоны, флавонолы			Галлокатехины, димеры флавоноидов
	Гидрофобная	Изофлавоны			Флавоны, флавонолы, флаван-3,4-диолы

Исходя из таблицы, можно сделать вывод, что групповой состав полифенольных соединений в извлечениях в целом достаточно однороден, однако использование в качестве ДСЭ спирта и этилацетата позволяет извлекать более широкий спектр полифенольных соединений. В экстрактах обнаружены кверцетин, рутин (370 и 356 нм соответственно), кемпферол (368 нм) и гиперозид (360 нм), что соотносится с литературными данными [3, 4].

Список литературы

1. Дмитрук С.Е. Лекарственные растения, сырье и фитопрепараты. Учебное пособие. Часть I. Томск: СибГМУ, 2004. С. 42.

2. Дидух М.Ю., Ямансарова Э.Т., Зворыгина О.Б. Перспективы использования двухфазной экстракции для извлечения флавоноидов из древесной зелени *Betula pendula* // Актуальные вопросы современного материаловедения. Материалы XII международной молодежной научно-практической конференции. Уфа, 2025, С. 36-38.

3. Н. Головкин, Р.Н. Руденская, И.А. Трофимова, А.И. Шретер. Биологически активные вещества растительного происхождения. В 3 т. Т. III. Наука, 2002. - 216 с.

4. Апаева А.В., Ямансарова Э.Т., Куковинец О.С., Абдуллин М.И. Оптимизация процесса экстракции фенольных соединений из плодовых оболочек гречихи // В книге: Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании. Тезисы докладов VIII Международной школы-конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых. 2015. С. 122-123.

© Дидух М.Ю., Ямансарова Э.Т., Зворыгина О.Б., 2026

УДК 539.23

ПРОВОДИМОСТЬ СЛОЯ ПОЛИАНИЛИНА СОЗДАННАЯ МЕТОДОМ ПОЛИВА ОТ ВЛАЖНОСТИ

Дрепакова А.П., Муллағалиев И.Н.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия.

Полианилин активно исследуется как перспективный материал для современной электроники [1]. Тонкоплёночные органические структуры на основе полианилина обладают выраженной чувствительностью к изменению относительной влажности воздуха [2]. Полианилин является перспективным проводящим полимером, имеющим высокую физико-химическую стабильность. Ключевым преимуществом материала выступает возможность обратимого регулирования его электропроводности. Кроме того, полианилин отличается низкой токсичностью и простотой синтеза, что делает его перспективной матрицей для создания сенсоров, а также фоточувствительных электронных устройств [3,4].

В данной работе был создан раствор путем смешивания размельченного до состояния порошка полианилина и 0,77 мкл раствора серной кислоты с последующей ультразвуковой обработкой в течение 20 минут. Наблюдался переход цвета исходного порошка из темно-синего в темно-зеленый с изумрудным оттенком. Добавление раствора серной кислоты выполняет роль протонного допирования полианилина. Визуально наблюдаемый переход свидетельствует о переходе полианилина из формы диэлектрического основания в проводящую соль эмеральдина. Раствор наносился на ситалловую подложку, далее напыляли электроды алюминия с зазором 50 мкм. На контакты подложки подавалось напряжение 5 В,

после чего фиксировалось изменение тока в цепи с повышением относительной влажности воздуха. За счет перевода материала в протонированное состояние полимер приобретает высокую чувствительность к влаге, резко увеличивая свою электропроводность при активном росте влажности воздуха. Данное свойство позволяет использовать протонированный полимер как активный слой для датчиков влажности.

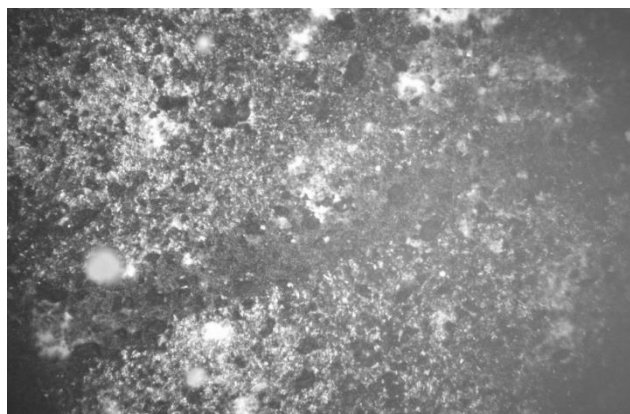


Рисунок 1. Фотография области зазора между электродами

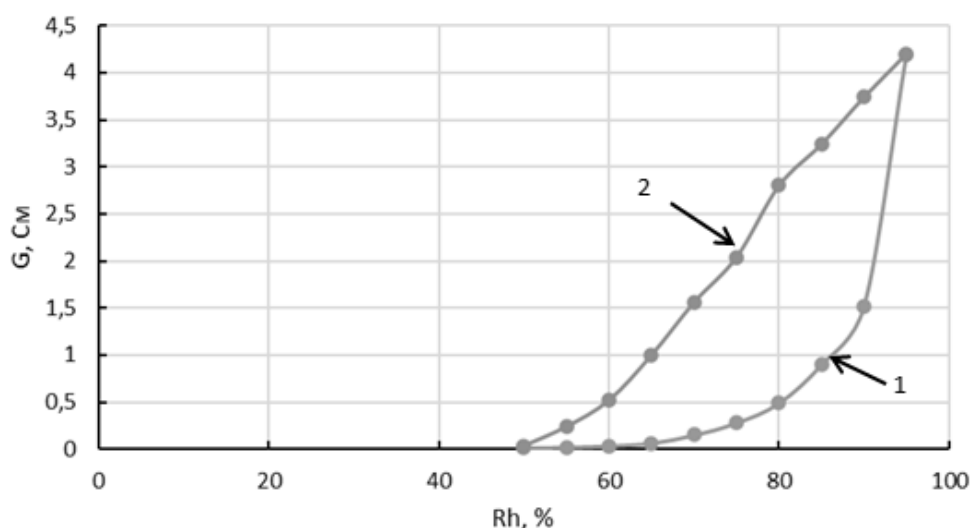


Рисунок 2. Зависимость проводимости слоя полианилина от влажности, 1 – увеличение, 2 – уменьшение влажности

На графиках приведена зависимость электропроводности пленки от относительной влажности среды. Из характера кривых видно, что в интервале влажности 40-60% электропроводность материала стабильно низкая. Экспоненциальный рост начинается при достижении 65-70%. Далее, в области высокой влажности наблюдается резкий скачок проводимости. Нижняя кривая соответствует процессу насыщения (сорбции), а верхняя - осушения (десорбции). Смещение кривой десорбции свидетельствует об удержании влаги в микропорах порошка полианилина после снижения внешней влажности.

Список литературы

1. Юмалин Т. Т., Салихов Р. Б., Салихов Т. Р. Разработка и исследование материалов на основе углеродных нанотрубок и полианилинов для создания новых электронных устройств. Известия Уфимского научного центра РАН. – 2025. – № 1. – С. 39-44.
 2. Сагидуллина А. Р., Салихов Р. Б. Тонкоплёночные органические датчики относительной влажности воздуха. Инновационные материалы и технологии: материалы. – 2024. – С. 194.
 3. Presnyakov K. Y., Pidenko P. S., Pidenko S. A. Molecularly imprinted polyaniline: Synthesis, properties, application. Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Chemistry. Biology. Ecology. – 2022. – Vol. 22, No. 2. – P. 142-149.
 4. Салихов Р. Б., Юмалин Т. Т., Остальцова А. Д. [и др.] Исследование фотопроводимости тонких пленок на основе производных полианилина. Вестник Башкирского университета. – 2025. – Т. 30, № 1. – С. 13-18.
- © Дрепакова А.П., Муллағалиев И.Н., 2026

УДК 666.3

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ АЛЮМОФОСФАТНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ

Жуков А.В., Ишумбаева О.Д., Фаздалова И.Р.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Создание современных керамических изделий сложной конфигурации, таких как трубчатые элементы, теплообменники и термостойкими характеристиками. Ключевым технологическим решением стало использование вакуумного поршневого прессования, которое позволяет эффективно удалять воздушные включения из пластичной массы и формировать изделия с открытыми каналами под электроизоляционные чехлы, требует кардинального пересмотра традиционных подходов к формованию, которые часто сопряжены с высокими энергозатратами, длительными циклами сушки и значительным процентом брака. Применение наноструктурированных композиционных масс на основе неорганических вяжущих систем открывает принципиально новые возможности для получения профилированных заготовок с заданными прочностными колоссальным давлением. Благодаря уникальной способности нанокомпозитов образовывать твердые фазы при относительно низких температурах, процессы сушки и последующего обжига существенно ускоряются и требуют меньших энергозатрат. Это обеспечивает получение бездефектных трубчатых изделий и втулок, обладающих высокой термостойкостью и водостойкостью, при этом

микроструктура материала закладывается еще на этапе коллоидного взаимодействия компонентов до начала термической обработки [1].

Фундаментальной основой прочности таких керамических систем являются сложные химические превращения, происходящие при взаимодействии оксида алюминия и фосфорной кислоты на различных этапах термического воздействия. При нагревании смеси образуются полимерные гидрофосфаты, которые проходят через стадии дегидратации и трансформации из линейных и циклических структур в более сложные мета- и полифосфатные сети. Скорость подъема температуры критически влияет на характер этих превращений: при быстром нагреве влага удаляется неравномерно, что приводит к образованию специфических кристаллических фаз и стекловидных прослоек, а медленный нагрев способствует более полному протеканию реакций замещения. Чтобы материал обрел полную устойчивость к воздействию атмосферной влаги и не терял свои несущие способности при длительном хранении, необходимо обеспечить полную дегидратацию и стабилизацию структуры путем финальной термообработки в диапазоне высоких температур, где происходит окончательное формирование нерастворимых и химически стойких соединений, исключающих регидратацию и разрушение связующего моста [2].

На ранних стадиях формирования изделий, когда термическая обработка еще не достигла высоких значений, скорость упрочнения материала напрямую зависит от кинетики физико-химических реакций в наноразмерном объеме связующего. До определенных пороговых температур рост механической прочности идет крайне медленно, что недостаточно для последующей технологической обработки и транспортировки заготовок. Однако при преодолении температурного барьера происходит резкий скачок несущей способности, что объясняется переходом системы в коллоидное состояние и запуском механизмов поликонденсации. Ионы металла и кислотные остатки объединяются в длинные цепочки, которые затем агрегируют в заряженные наноструктуры и мицеллы. Такое фрактальное гелеобразование позволяет связующему компоненту быстро выстраивать прочный пространственный каркас вокруг частиц наполнителя, обеспечивая необходимую технологическую прочность всего за несколько часов низкотемпературного нагрева, что полностью переворачивает представление о скорости формообразования огнеупорных изделий [3].

Список литературы

1. Хайдаршин Э. А., Шаяхметов У. Ш., Халиков Р. М., Фахретдинов И. А., Шаяхметов А. К. Физико-химические особенности твердения алюмофосфатной композиции // Вестник Башкирского университета. 2016. Т. 21. № 1. С. 27–31.

2. Шаяхметов, У. Ш. О керамическом материаловедении / У. Ш. Шаяхметов // Новые технологии в материаловедении: материалы I научно-практической конференции с международным участием / отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. – 2015. – С. 8–11.

3. Шаяхметов У. Ш., Фахретдинов И. А., Халиков Р. М., Третьякова В. С. Кинетика твердения при нагреве алюмофосфатных композиций // Доклады Башкирского университета. 2017. Том 2. № 1. С. 14–17.

© Жуков А.В., Ишумбаева О.Д., Фаздалова И.Р., 2026

УДК 666.3

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ТВЕРДЕНИЕ И ВАКУУМНОЙ ЭКСТРУЗИИ ДО КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ РАЗРУШЕНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПЕЧЕЙ

Жуков А.В., Фаздалова И.Р., Никитина В.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Эксплуатация ответственных узлов и агрегатов в условиях экстремального нагрева требует перехода от эмпирических оценок к строгому теоретическому обоснованию сроков их службы. Традиционные методы прогнозирования разрушения материалов зачастую не учитывают глубинных механизмов, протекающих на микроуровне при длительном воздействии температур, приближающихся к двум тысячам градусов. Понимание истинной природы старения поликристаллических тел позволяет не только точно оценивать их остаточный ресурс, но и создавать принципиально новые подходы к проектированию защитных покрытий и теплоизолирующих конструкций, гарантируя их безаварийную работу в самых жестких промышленных условиях [1].

Фундаментальным прорывом в оценке срока службы стало осознание того, что зернистая структура твердых тел является проявлением глубоких волновых закономерностей. Вероятность образования химических связей между атомами описывается сложными математическими функциями, максимумы которых формируют упорядоченные кристаллические решетки, а минимумы порождают хаотичные, стеклоподобные зоны. Стремление системы к энергетическому равновесию непрерывно стимулирует рост кристаллитов. Однако при достижении теоретического предела размера зерен межзерновые пустоты и микрокаверны разрастаются до критических величин, становясь очагами зарождения разрушительных трещин. Математическое описание этих процессов позволило вывести точные аналитические зависимости, связывающие историю изготовления материала, его текущее микроскопическое состояние и внешние температурные воздействия с временем неизбежного старения [1].

Развитие этих представлений показало, что законы перестройки внутренней структуры универсальны как для неметаллических, так и для металлических сплавов. Термодинамические силы, действующие как градиенты энергии, заставляют кристаллы расти с независимыми скоростями по разным направлениям, пока встречные фронты не образуют стабильные разделительные границы. Скорость этого непрерывного уплотнения и перерождения зависит от сложного баланса между внутренним стремлением к кристаллизации и внешними ограничениями, накладываемыми деформациями. Полученные точные формулы для расчета времени достижения предельного состояния кардинально отличаются от прежних эмпирических правил, поскольку они напрямую включают в себя параметры начального и конечного состояния структуры, что обеспечивает беспрецедентную точность при определении остаточного ресурса нагруженных трубопроводов, обшивок и футеровок [2].

Знание микроскопических процессов неизбежно должно трансформироваться в надежные инженерные решения для создания высокотемпературных агрегатов. При проектировании печей, работающих в диапазоне до двух тысяч градусов, традиционные линейные представления о переносе тепла полностью теряют свою применимость. На смену им приходит понимание того, что способность материалов сопротивляться тепловому потоку начинает ухудшаться по квадратичному закону из-за преобладания лучистого, фотонного механизма передачи энергии над колебательным. Это диктует необходимость использования сложных многослойных барьеров, где каждый последующий слой из пористых корундовых или кремниевых плит компенсирует возрастающую проницаемость предыдущего, формируя надежный тепловой щит [3].

Компьютерный подбор оптимального соотношения толщин изоляционных слоев позволяет достичь идеального баланса между компактностью агрегата и минимизацией энергопотерь. Аналитическое моделирование температурных полей внутри такой нелинейной среды дает возможность построить точнейшие зависимости, связывающие подаваемую электрическую мощность с установившимися температурами в рабочей камере и на границах защитных слоев. Подобный фундаментальный подход к конструированию открывает путь к созданию систем автоматического плавного управления, которые в реальном времени корректируют нагрев, гарантируя соблюдение самых строгих технологических режимов и многократно увеличивая общий срок безотказной службы дорогостоящего оборудования [3].

Список литературы

1. Захаров А. В., Шаяхметов У. Ш., Батршина Г. С. Квантовая теория долговечности огнеупоров // Промышленные процессы и технологии. 2024. Т. 4. № 2(12). С. 60–66.

2. Захаров А. В., Шаяхметов У. Ш., Недосеко И. В., Кулигин Н. А. Определение остаточного ресурса керамических и металлических материалов повышенной точности // Конструкции из композиционных материалов. 2024. № 1. С. 44–47.

3. Захаров А. В., Шаяхметов У. Ш., Ахметшина Г. Г. Расчет высокотемпературной муфельной печи с новыми теплоизоляционными материалами // Вестник Башкирского университета. 2017. Т. 22. № 4. С. 996–1000.

© Жуков А.В., Фаздалова И.Р., Никитина В.А., 2026

УДК 543.552

РАЗРАБОТКА ДВУХФАЗНОЙ ХИРАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНОГО ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОДА И D-КАМФОРСУЛЬФОНОВОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНАНТИОМЕРОВ ТРИПТОФАНА

Зекиева А.Ф., Зильберг Р.А, Бикмухаметова А.Ю., Степанова П.А.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Энантиоселективные сенсоры [1-8] находят широкое применение для быстрого анализа фармацевтических препаратов, однако традиционная модификация поверхности сенсора практически достигла своего предела, так как энантиоселективность выше определенного значения повысить не удастся. Предложенный нами новый подход заключается во введении в раствор аналита электронейтральных асимметрических агентов (например, D-борнилсульфата, D-винной кислоты, D-камфорсульфоновой кислоты(CSA)), которые трансформируют исходные энантиомеры в диастереомерные ассоциаты. Последние эффективно распознаются на хиральном электроде, что обеспечивает значительный рост энантиоселективности и чувствительности.

Диастереомеры, в отличие от энантиомеров, представляют собой устойчивые пространственные изомеры, доступные для выделения в индивидуальном виде и различающиеся физическими, а также частично химическими свойствами.

В рамках данной работы реализована двухфазная хиральная платформа на основе стеклогуглеродного электрода, модифицированного полиэлектролитным комплексом хитозана и сукцинамида хитозана (ПЭК) с β -циклодекстрином, с использованием D-камфорсульфоновой кислоты в фоновом электролите.

Таблица 1 – Сравнение энантиоселективности

Сенсор	E, мВ		i _p , мкА		i _{p1} /i _{p2}	ΔE , мВ
	D-Трп	L-Трп	D-Трп	L-Трп		
СУЭ	810 ± 5	815 ± 6	3.95	3.99	1.01	5
СУЭ/ПЭК	810 ± 4	820 ± 6	4.12	4.45	1.09	5

СУЭ/ПЭК/ β -ЦД	805 $\pm$ 5	820 $\pm$ 8	3.98	4.81	1.21	15
СУЭ@CSA	820 $\pm$ 5	820 $\pm$ 6	3.75	4.32	1.15	0
СУЭ/ПЭК@CSA	810 $\pm$ 7	820 $\pm$ 6	3.68	4.71	1.28	10
СУЭ/ПЭК/β-ЦД @CSA	795 $\pm$ 4	815 $\pm$ 3	3.47	5.24	1.51	20

Предложенный подход обеспечил высокую селективность к энантиомерам триптофана: отношение токов пиков составило 1,51 при разности потенциалов 20 мВ. Установлено, что электродный процесс контролируется диффузией, а линейный диапазон определяемых концентраций меняется от 5×10^{-5} до 1×10^{-3} М. Пределы обнаружения для D- и L-триптофана составили $1,81 \times 10^{-6}$ М и $1,20 \times 10^{-6}$ М соответственно, причём сенсор проявил повышенную чувствительность к L-энантиомеру (коэффициент чувствительности 3,27).

Разработанная платформа успешно апробирована на модельных растворах, биологических жидкостях и биологически активных добавках: относительное стандартное отклонение не превысило 4,1 %, а правильность определения варьировала от 98,2 % до 104,0 %.

Список литературы

1. Майстренко, В. Н. Энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры / В. Н. Майстренко, Г. А. Евтюгин, Р. А. Зильберг. – Уфа: Башкирский государственный университет, 2018. 189 с. ISBN 978-5-7477-4754-8.
2. A voltammetric sensor based on aluminophosphate zeolite and a composite of betulinic acid with a chitosan polyelectrolyte complex for the identification and determination of naproxen enantiomers / R. A. Zilberg, V. N. Maistrenko, Yu. B. Teres [et al.] // Journal of Analytical Chemistry. – 2023. – Vol. 78, No. 7. – P. 933-944.
3. Вольтамперометрический сенсор на основе алюмофосфатного цеолита и композита бетулиновой кислоты с полиэлектролитным комплексом хитозана для распознавания и определения энантиомеров напроксена / Р. А. Зильберг, В. Н. Майстренко, Ю. Б. Терес [и др.] // Журнал аналитической химии. – 2023. – Т. 78, № 7. – С. 648-661.
4. Синтез и применение хелатных комплексов $[Zn(\text{L-ARG})_2(\text{H}_2\text{O})]$ и $[[Zn(\text{Z-ARG})_2(\text{H}_2\text{O})](\text{SO}_4)]_2$ -в качестве хиральных селекторов / Р. Р. Гизатов, Ю. Б. Терес, М. Н. Галимов [и др.] // Координационная химия. – 2025. – Т. 51, № 5. – С. 315-326.
5. Chiral cobalt (III) complexes based on (1R,2R)-cyclohexanediamine and 4-bromo-5-methylsalicylaldehyde: synthesis, modification, and application in catalysis and enantioselective sensors / O. V. Khromova, A. F. Smol'yakov, R. A. Zil'berg [et al.] // Russian Journal of Coordination Chemistry. – 2025. – Vol. 51, No. 3. – P. 200-210.

6. Voltammetric sensor for naproxen enantiomers based on a paste electrode modified with a Chiral nickel(II) complex / R. A. Zilberg, Y. B. Teres, I. V. Vakulin [et al.] // Chirality. – 2025. – Vol. 37, No. 2. – P. e70025.

7. Homochiral zeolites as chiral modifier for voltammetry sensors with high enantioselectivity / I. V. Vakulin, R. A. Zilberg, I. I. Galimov, M. A. Sycheva // Chirality. – 2023. – Vol. 36, No. 2. – P. 23635.

© Зекиева А.Ф., Зильберг Р.А., Бикмухаметова А.Ю.,
Степанова П.А., 2026

УДК 691.175

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ПЭТ-ОТХОДОВ

Зеленков А.С., Глазырин А.Б.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Переработка полимерных отходов является в настоящее время одной из острых экологических и экономических проблем. В условиях глобального загрязнения окружающей среды пластиком разработка эффективных технологий утилизации ПЭТ-отходов представляет актуальную задачу, направленную на решение экологических проблем и, одновременно, на обеспечение промышленности ценным полимерным сырьем.

Производством вторичного ПЭТ (или переработкой промышленных и бытовых ПЭТ-отходов) в России занимается около 20 предприятий. Существующие мощности позволяют перерабатывать до 150 тыс. т отходов в год. Потребность во вторичном ПЭТ-грануляте увеличивается ежегодно на 5-7%.

В настоящей работе приведены результаты разработки проекта установки по переработке ПЭТ-отходов производительностью 8000 т/год.

В качестве исходного сырья в процессе используются бутылочная ПЭТ-тара. Предложена технологическая схема по переработке ПЭТ-отходов в хлопья-флекс, включающая стадии измельчения, очистки, флотационного разделения, сушки. Особенностью технологии является использование на последующей стадии гранулирования двухшнекового экструдера с системой дегазации расплава. Перед подачей на фильеру экструдера расплав проходит дополнительную очистку на фильтре.

Получаемый вторичный ПЭТ-гранулят характеризуется следующими параметрами: показатель текучести расплава 0,5-5 г/10 мин, прочность при разрыве 18-20 МПа.

Исходя из предполагаемой производительности установки произведен выбор необходимого технологического оборудования, составлен материальный баланс производства, рассчитаны основные технико-экономические показатели процесса. Выход ПЭТ-гранулята в расчете на исходное сырье составляет 87,7%.

Проведенные расчеты показали, что предложенный проект не только направлен на решение экологических проблем, но и экономически выгоден: капитальные затраты составляют 18–20 млн. руб.; себестоимость 1 тонны продукции - 34,5 тыс. руб.; предполагаемый срок окупаемости затрат на создание установки около 3 лет.

Технологические и экономические расчеты, выполненные в рамках данного проекта, будут использованы при создании промышленной установки переработки ПЭТ-отходов.

© Зеленков А.С., Глазырин А.Б., 2026

УДК 546.831:66.097.5

ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩЕГО ГАЗА В ПРОЦЕССЕ ПАРОВОЙ КОНВЕРСИИ ЭТАНОЛА НА НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРАХ

Иванова Е.С., Антонюк С.Н.

*Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова,
«МИРЭА – Российский технологический университет», Москва,
Россия*

За последние десятилетия наблюдается существенный рост интереса мирового сообщества к экологическим последствиям, которые обусловлены увеличением потребления энергии и использованием ископаемых видов топлива. В связи с пониманием экологических и энергетических проблем проводятся исследования, направленные на поиск и внедрение альтернативных возобновляемых источников энергии. Водород, рассматриваемый как энергоноситель и стратегическое сырьё для химической промышленности, в настоящее время признается одним из наиболее перспективных и устойчивых ресурсов в ближайшей перспективе. Одним из перспективных направлений для получения водорода является каталитический паровой риформинг биоэтанола - продукта ферментации сельскохозяйственных отходов [1].

В данной работе исследовались образцы катализаторов 21% Ni/ γ - Al_2O_3 , синтезированные методом пропитки с последующей механохимической активацией в аппарате вихревого слоя (АВС) [2]. После прокаливании на воздухе катализаторы восстанавливали в токе водорода. Эксперименты проводили в диапазоне температур 400 - 700°C при объемной скорости 0,6 час⁻¹ сырьевой смеси этанол: вода с соотношением 1:10 мольн. С ростом температуры выход водорода увеличивается и достигает значений 96 – 98% при температуре 600°C в присутствии всех образцов катализаторов, причем в области температур до 600°C с увеличением объемной скорости подачи смеси до 3 ч⁻¹ более высокую активность проявляет катализатор, обработанный в АВС. Следует отметить, что при температурах выше 600°C остаточное содержание монооксида углерода составляет 3-5% об. и снижается до 1-3% об. с

увеличением объемной скорости подачи смеси до 3ч^{-1} . Таким образом, показана возможность получения водородсодержащего газа с высоким выходом при каталитической конверсии водно-этанольной смеси.

Список литературы

1. Якимова М.С., Третьяков В.Ф., Французова Н.А., Ярыгина Л.О. Получение водородсодержащего газа паровой конверсией этанола. Вестник МИТХТ, 2010, т. 5, № 4, С. 93 – 97.
2. Логвиненко Д.Д., Шеляков О.П. Интенсификация технологических процессов в аппаратах с вихревым слоем – Изд. «Техника», 1976, 144 с.

© Иванова Е.С. Антонюк С.Н., 2026

УДК 666.266.9

ИНТЕГРИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЕНОКЕРАМИКИ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Иващенко Д.Х., Фаздалова И.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Современная строительная отрасль переживает настоящий бум инноваций, и одним из самых горячих направлений стало создание материалов, которые умудряются сочетать, казалось бы, несочетаемое – легкость, отличные теплоизоляционные характеристики и при этом внушительную конструкционную прочность [1,3]. Если задуматься, именно такие материалы становятся настоящим спасением при возведении жилых комплексов и промышленных объектов, где требования к тепло- и звукоизоляции постоянно растут. Сегодня пальму первенства держат высокоэффективные пористые силикатные материалы – пеностекло, пенокерамика, различные ячеистые бетоны, но вот беда – на практике крайне сложно получить материал, который бы одновременно радовал и легкостью, и теплоизоляцией, и прочностью. Именно поэтому разработка эффективных технологий получения таких композитных материалов остается на повестке дня как одна из самых актуальных задач современной материаловедческой науки. Научный коллектив под руководством исследователей из Башкирского государственного университета предложил действительно интересное решение – энерго- и ресурсосберегающую технологию получения строительных пенокерамических материалов, которые как раз и отличаются тем самым желанным сочетанием легкости, малой теплопроводности и достаточной прочности. Что особенно приятно в этом подходе, так это то, что производство пористых силикатных материалов по данной технологии характеризуется завидно малой

материалоемкостью, да еще и позволяет использовать отходы промышленности и дешевые местные легкоплавкие глины, что в конечном счете делает производство экономически привлекательным [2,4]. Представленная технология базируется на методе вспенивания в процессе обжига стеклокристаллической матрицы, при котором формируется ячеистая макроструктура неорганической пены, где практически все поры закрыты и не сообщаются между собой, что и обеспечивает отличные эксплуатационные характеристики [3].

Главным козырем этой технологии можно смело назвать возможность тонкой настройки поровой структуры – можно регулировать количество пор и их размер, сохраняя при этом неизменным тип пористости (закрытая ячеистая), просто изменяя среднюю плотность материала [4]. Это открывает просто невероятные перспективы для получения материалов с заранее заданными свойствами под конкретные задачи строительства. Согласно разработанной технологии, в качестве сырья применяются вполне доступные компоненты: необработанный или предварительно обожженный при 1200 °С пирофиллит месторождения

Куль-Юрт-Тау (Республика Башкортостан), глина месторождения Алексеевское (тоже Республика Башкортостан) и неорганические газообразующие добавки в виде карбида титана [2,3]. Такой выбор сырья не случаен – пирофиллит представляет собой гидратированный алюмосиликат с химической формулой $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, обладающий рядом уникальных свойств, включая высокую химическую инертность и отличные электроизоляционные характеристики. Разработанная технологическая линия для изготовления изделий из стеклокристаллической пенокерамики представляет собой хорошо отлаженный производственный процесс, где концентрат пирофиллитового сырья сначала подвергается грубому сухому помолу в щековой дробилке до фракции 50–10 мм, а затем до фракции 10–0.5 мм [1,3]. После этого на шаровых мельницах выполняется тонкий сухой и затем мокрый помол пирофиллитового сырья до фракции 10 мкм, что требует около 48 часов. Параллельно подготавливается глина из месторождения Алексеевское, которая отличается сравнительно низкой стоимостью и температурой обжига, при которой происходит образование стеклофазы в матрице обжигаемого материала. Подготовленные компоненты шихты через дозаторы в определенном соотношении поступают на автоматическое смешивание, а одновременно из накопительной емкости через дозатор осуществляется подача добавки в виде газообразующего карбида титана в количестве 0.5 мас.% с дисперсностью 10–20 мкм [2].

Гомогенная шихта указанного состава затем поступает на участок формовки полуфабрикатов изделий, где автоматически управляемое оборудование (прессы, экструдеры, сменная оснастка) обеспечивает заполнение и уплотнение типовых форм, выполненных в виде керамических коробов [1,3]. Подготовленные полуфабрикаты

транспортируются сначала в устройство для сушки, а затем в туннельную газопламенную печь с рабочей температурой в средней части 1150 °С, после чего готовые изделия поступают на вход леера для отжига. Такая последовательность операций позволяет получить материал с действительно впечатляющими техническими характеристиками: предел прочности при сжатии составляет не менее 35 МПа, термостойкость при 200 °С – не менее 50 циклов, а температурный диапазон применения охватывает интервал от –45 до +60 °С. Пеноматериалы на основе стеклокристаллических композиций имеют плотность 350–600 кг/м³ и характеризуются низкой теплопроводностью 0.2–0.4 Вт/(м·К), что в сочетании с приведенной прочностью, более высокой, чем у кирпича марки 150, делает их исключительно привлекательными для строительства [2,4]. Применение производимых по данной технологии материалов позволяет решить сразу несколько важных задач – снизить вес стеновых и технологических конструкций в несколько раз при одновременном увеличении их теплового сопротивления, уменьшить затраты на укладку блоков и расход цемента [1]. Строительные и теплоизоляционные изделия могут быть изготовлены в виде прямоугольных блоков, пластин, призматических, цилиндрических или иных форм для строительства зданий и сооружений, а также для использования в качестве эффективной теплоизоляции теплотрасс [2]. Разработанная линия позволяет создать целый ряд высокопроизводительных технологий для изготовления серии теплоизоляционных и строительных изделий различного назначения с высокими характеристиками по прочности, плотности, водонепроницаемости, теплопроводности и морозостойкости [1,3]. Что особенно важно, в новой технологии возможно использование не только пиррофиллита, но и других видов дешевого местного сырья (перлитов, цеолитов, базальтов), а также отходов промышленности (стеклобоя, вскрышных пород, отходов шлифовки стеклоизделий, шлаков), что обеспечивает решение важных проблем энерго- и ресурсосбережения при массовом производстве строительных материалов [4].

Таким образом, можно с уверенностью сказать, что разработанная технология изготовления теплоизоляционных и строительных изделий различного назначения из стеклокристаллической пенокерамики представляет собой действительно перспективное направление в современном строительном материаловедении [3,5]. Система комплексного производства строительных материалов и изделий на основе предложенной технологической линии может найти широкое применение на местных предприятиях по изготовлению конструктивных и теплоизоляционных изделий для строительства сооружений гражданского и промышленного назначения [5]. Созданные строительные пенокерамические блоки обладают высокими качественными показателями по плотности, прочности, водонепроницаемости, теплопроводности и морозостойкости, что делает их конкурентоспособными на современном рынке строительных

материалов [6]. По расчетам специалистов, срок окупаемости предлагаемой технологической линии составляет около трех лет, что делает данный проект экономически привлекательным для инвесторов и перспективным для внедрения в регионах с развитой строительной индустрией [7]. Внедрение данной технологии позволит не только обеспечить предприятия строительного комплекса современным керамическим сырьем, но и создать новые рабочие места, способствовать развитию инновационного предпринимательства в регионе.

Список литературы

1. Бакунов В. С., Мурзакова А. Р., Шаяхметов У. Ш. Пирофиллитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Тау как основа керамических композитов // Стекло и керамика. – 2011. – № 12. – С. 23–27.
2. Крупа А. А., Городов В. С. Химическая технология керамических материалов : учеб. пособие. – Киев: Выща шк., 1990. – 399 с.
3. Мурзакова А. Р., Шаяхметов У. Ш., Бакунов В. С. Композиционные материалы из пирофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау // Огнеупоры и техническая керамика. – 2011. – № 3. – С. 36–40.
4. Мурзакова А. Р., Шаяхметов У. Ш., Васин А. К., Бакунов В. С. Разработка технологии получения эффективного строительного пористого тепло- и звукоизоляционного конструкционного материала // Строительные материалы. – 2011. – № 5. – С. 65–67.
5. Шаяхметов, У. Ш. О керамическом материаловедении / У. Ш. Шаяхметов // Новые технологии в материаловедении : материалы I научно-практической конференции с международным участием / отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. – 2015. – С. 8–11.
6. Shayakhmetov, A. U. Technology of reaction bonded silicon carbide (SiC) products / A. U. Shayakhmetov, M. Li, U. Sh. Shayakhmetov // Новые технологии в материаловедении : материалы I научно-практической конференции с международным участием / отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. – 2015. – С. 13.
7. Шаяхметов, У. Ш. Пиропфиллитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Тау как сырье для керамической промышленности / У. Ш. Шаяхметов, Г. Х. Янышева, Л. У. Киеккужина, В. С. Третьякова // Современные технологии композиционных материалов : материалы II научно-практической молодежной конференции с международным участием / отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. – 2016. – С. 189–190.

© Иващенко Д.Х., Фаздалова И.Р., 2026

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ПИРОФИЛЛИТОВОГО СЫРЬЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУЛЬ-ЮРТ-ТАУ ДЛЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Иващенко Д.Х., Фаздалова И.Р., Ахметшин Б.С.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Современная керамическая промышленность, мягко говоря, испытывает острую потребность в качественном минеральном сырье, которое обладало бы уникальным комплексом физико-химических свойств и при этом было экономически доступным. Особое место среди таких материалов занимает пирофиллит – природный гидратированный алюмосиликат, который благодаря своим характеристикам находит широкое применение в производстве керамических изделий различного назначения [1]. Актуальность разработки технологий переработки данного минерала обусловлена существующим дефицитом качественного сырья на отечественных предприятиях, производящих керамическую плитку, электроизоляторы, кислотоупоры и огнеупорные материалы. Природный пирофиллит представляет собой слоистый минерал из группы филлосиликатов с химической формулой $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, что, собственно, и определяет его уникальные технологические характеристики. Плотность данного минерала составляет 2,8–2,9 г/см³, он имеет белый цвет с возможными желтоватыми или зеленоватыми оттенками и встречается в природе в виде пластинчато-лучистых скоплений [2]. Особого внимания заслуживает химическая инертность пирофиллита по отношению к сильным кислотам и щелочам, что объясняется формированием поверхностных защитных пленок, препятствующих проникновению агрессивных реагентов вглубь кристаллической структуры. Данная особенность делает пирофиллит практически незаменимым материалом для производства кислотоупорных изделий с показателями кислотоупорности 98,8–99,9% [1]. Термические превращения пирофиллита представляют особый интерес для технологического процесса получения керамических материалов. При нагревании в интервале температур 700–900 °С происходит полное удаление конституционной воды с образованием метапирофиллита $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$ [3, 4]. Дальнейший нагрев до 1150 °С приводит к разложению метапирофиллита с формированием муллита и кристобалита – огнеупорных соединений, типичных для всех обожженных алюмосиликатов [3]. Именно эти конечные продукты высокотемпературных превращений обеспечивают керамическим материалам высокую механическую и термическую стойкость, что критически важно для их дальнейших эксплуатационных характеристик. Месторождение Куль-Юрт-Тау, расположенное на восточном склоне Южного Урала в 7 км севернее поселка Баймак и в 40 км к западу от

железнодорожной станции Сибай, представляет собой разведанную и полностью готовую к эксплуатации сырьевую базу [6, 8]. Удобное географическое положение месторождения в непосредственной близости от промышленных потребителей и развитой инфраструктуры делает его экономически привлекательным для организации производства [4]. На сегодняшний день это месторождение способно обеспечить потребности предприятий Республики Башкортостан и других регионов страны в качественном керамическом сырье. Технологический процесс переработки пиррофиллитового сырья представляет собой многоступенчатую процедуру, включающую несколько последовательных этапов механической обработки минерала. Первоначально осуществляется дробление поставляемых глыб породы размером не более 200 мм, которое проводится в две стадии: первичное дробление до размера кусков около 50 мм и последующее вторичное дробление на щековой дробилке до получения частиц размером 0,5–3,0 мм. Такой подход позволяет в течение одного часа подготовить сырье для дальнейшего измельчения на шаровых мельницах, что существенно повышает производительность всего технологического процесса.

Тонкое измельчение дробленой породы до размеров 0,5–1,0 мм осуществляется мокрым способом в шаровой мельнице при строго определенном соотношении компонентов: порода : шары : вода = 1 : 2 : 1. Процесс помола продолжается в течение 48 часов с периодическим контролем состояния водной суспензии и ее фракционного состава согласно ГОСТ 21216.2-93 [6]. По завершении помола образовавшаяся сметанообразная водная суспензия сливается в поддоны для последующего высушивания. После сушки масса подвергается сухому измельчению в шаровой мельнице в течение 1-2 часов до получения тонкомолотого порошка с удельной поверхностью 4000–5000 см²/г. Использование пиррофиллита в составе керамических масс обусловлено целым рядом ценных технологических свойств данного минерала [3]. Цвет порошкообразного пиррофиллита преимущественно белый и зависит от его дисперсности, причем белизна заметно повышается с уменьшением размера частиц [2]. Низкая твердость минерала обеспечивает хорошую механическую обрабатываемость, а введение пиррофиллита в керамические массы позволяет снизить их температурный коэффициент линейного расширения [4]. Кроме того, отличные электроизоляционные свойства делают возможным применение пиррофиллита в нагревательных элементах в качестве высокоэффективных изоляторов. Керамические материалы, полученные с использованием пиррофиллитового сырья, характеризуются высокой механической и термической стойкостью, малой влагоемкостью и отличной способностью к глазурованию. Присутствие кварца в составе пиррофиллита обуславливает его использование в качестве отошающей добавки, одновременно содержащей значительное количество глинозема.

Данные технологические характеристики открывают широкие возможности для применения пиррофиллитового сырья при разработке новых составов для керамической и огнеупорной промышленности, включая производство керамической плитки, электроизоляторов, кислотоупоров, шамотных и жаростойких изделий, а также санитарно-фаянсовых изделий. На территории Республики Башкортостан функционирует значительное количество предприятий строительного комплекса, машиностроения, металлургической и нефтехимической промышленности, испытывающих постоянную потребность в керамической продукции [5]. К числу основных потребителей относятся завод «Ласселсбергер керамикс», ООО «ИТАЛБАШКЕРАМИКА» (г. Уфа), ОАО «Южно-уральский арматурно-изоляционный завод», Башкирский керамический завод и другие предприятия [6]. Организация производственной линии по получению многотоннажной пиррофиллитовой продукции в качестве керамического сырья представляет собой эффективное решение проблемы обеспечения данных предприятий качественным сырьем. Современные технологические мельницы обладают неоспоримым преимуществом перед традиционным оборудованием, поскольку все этапы обогащения сырья – измельчение, просушка, контроль качества – объединены в едином технологическом комплексе [5, 6]. Такой интегрированный подход позволяет существенно сократить время переработки сырья и снизить себестоимость процесса переработки исходных минералов [6]. Организация линии по производству обогащенного пиррофиллитового порошка на основе современного оборудования позволит экономически выгодным способом получать готовый продукт, полностью соответствующий требованиям предприятий керамической промышленности. По предварительным экономическим расчетам, срок окупаемости предлагаемой технологической линии составляет три года, что делает данный проект инвестиционно привлекательным [7]. Внедрение технологии переработки пиррофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау позволит не только обеспечить предприятия керамической промышленности Республики Башкортостан и Российской Федерации качественным керамическим сырьем, но и создать новые рабочие места, способствовать развитию инновационного предпринимательства в регионе [8]. Комплексное использование достижений в области технологии керамических материалов открывает перспективы для производства конкурентоспособной продукции, отвечающей самым современным требованиям рынка.

Список литературы

1. Абдрахимова Е. С. Кинетика изменения структуры и пористости в процессе обжига кислотоупоров // Известия вузов: Строительство. – 2000. – №9. – С. 38–41.

2. Энциклопедия неорганических материалов : в 2 т. – Т. 2. – Киев : Издательское объединение «Высшая школа», 1977. – С. 178.

3. Шаяхметов У. Ш., Мустафин А. Г., Амиров Р. А. Пирофиллит и материалы на его основе. – М. : Наука, 2007. – 168 с.

4. Будников П. П., Хорошавин Л. Б. Огнеупорные бетоны на фосфатных связках. – М. : Металлургия, 1971. – 192 с.

5. Винокурова Н. И. Огнеупоры на основе сухих кислых фосфатных связующих // Исследование и применение вяжущих материалов для изготовления огнеупоров : Тез. докл. научн.-технич. совещ. – Свердловск, 1990. – С. 58–59.

6. Мурзакова А. Р., Шаяхметов У. Ш., Бакунов В. С. Композиционные материалы из пирофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау // Огнеупоры и техническая керамика. – 2011. – №3. – С. 36–40.

7. Шаяхметов, У. Ш. Пиропфиллитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Тау как сырье для керамической промышленности / У. Ш. Шаяхметов, Г. Х. Янышева, Л. У. Киеккужина, В. С. Третьякова // Современные технологии композиционных материалов : материалы II научно-практической молодежной конференции с международным участием / отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. – 2016. – С. 189–190.

8. Бакунов В. С., Мурзакова А. Р., Шаяхметов У. Ш. Пирофиллитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Тау как основа керамических композитов // Стекло и керамика. – 2011. – №12. – С. 23–27.

© Иващенко Д.Х., Фаздалова И.Р., Ахметшин Б.С., 2026

УДК 691.175.3

ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНО ПЕРЕРАБОТАННОГО СТЕКЛОПЛАСТИКА В СОСТАВЕ НОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ившин С.С., Григорьев Р.Р., Ерлыгина М.А.

*ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технологический университет», Казань, Россия*

Актуальным вопросом современного материаловедения в сфере композиционных материалов остается создание производств замкнутого цикла. При этом неразрешенной задачей является проблема вторичной переработки и использования композиционных материалов на термореактивной матрице. Возможным решением является применение метода механоактивации регенерата в процессе его получения предложенный на кафедре ТИПиКМ ФГБОУ ВО «КНИТУ» [1-3].

В качестве объекта исследования рассмотрена стеклопластиковая арматура АКС (ГОСТ 31938 — 2012) производства ООО «ЭТИЗ Композит» г. Углич диаметром 5 мм и длиной образца 300 мм, из которой под действием интенсивного механического воздействия получен регенерат, состоящий из стеклянных волокон длиной 80 – 2450 мкм покрытых

частицами термореактивной матрицы (рисунок 1). Результаты ИК-фурье спектроскопии полученного образца стеклопластикового регенерата показали наличие свободных радикальных групп, что подтверждает его потенциальную активность в качестве наполнителя для нового композиционного материала (рисунок 2).

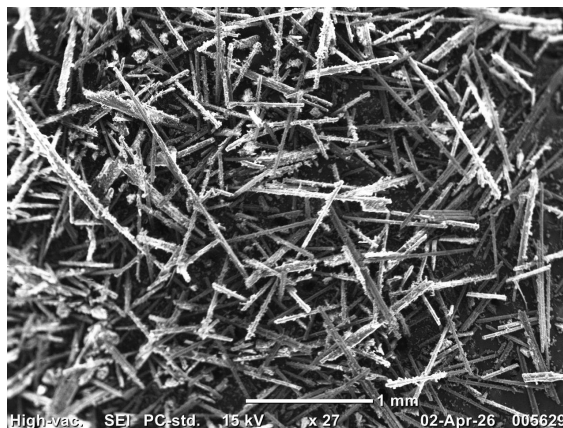


Рисунок 1 – Микрофотография стеклопластикового регенерата

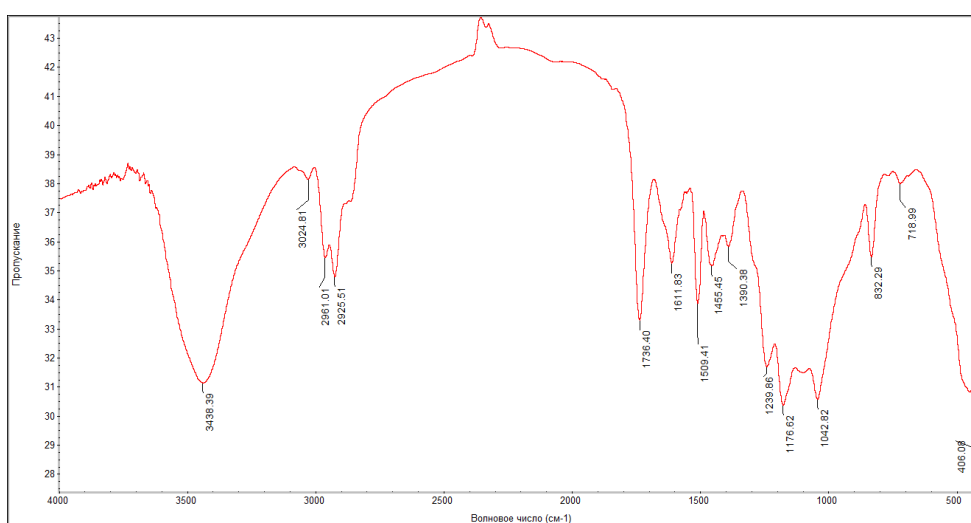


Рисунок 2 – Результаты ИК-Фурье анализа стеклопластикового регенерата

Проведена оценка влияния концентрации стеклопластикового регенерата на физико-механические характеристики эпоксидного компаунда на основе смолы марки ЭД-20 и отвердителя полиэтиленполиамина взятых в соотношении 10:1 (рисунок 3).

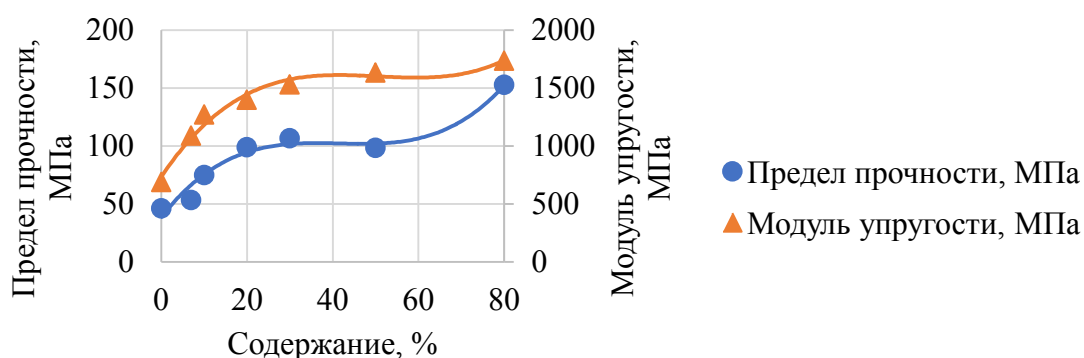


Рисунок 3 – Влияние концентрации регенерата на физико-механические характеристики эпоксидного компаунда

В результате введения наполнителя внутри компаунда формируется новая структура, что приводит к закономерному увеличению физико-механических характеристик. Так, при введении регенерата до 20% происходит увеличения предела прочности образцов на сжатие в 2,14 раза. При создании высоконаполненного композиционного материала со степенью наполнения 80% прочность на сжатие возрастает в 3,3 раза.

Для оценки вклада каждого компонента стеклопластикового регенерата в отдельности произведено его фракционирование ситовым методом на частицы термореактивной матрицы и стеклянные волокна, после чего были изготовлены образцы, наполненные каждой из составляющих отдельно, а также их комбинацией в виде исходного регенерата. Содержание наполнителей в каждом случае было одинаковым и составляло 10%. Сравнительный анализ (рисунок 4) показывает, что введение наполнителя приводит к последовательному формированию развитой структуры, при этом наиболее развитая структура образуется при введении комбинированного наполнителя в виде исходного регенерата. При этом наибольший прирост прочности в 1.6 раза зафиксирован при введении выделенной фракции волокнистого наполнителя. Введение выделенной фракции термореактивного связующего не приводит к изменению физико-механических характеристик.

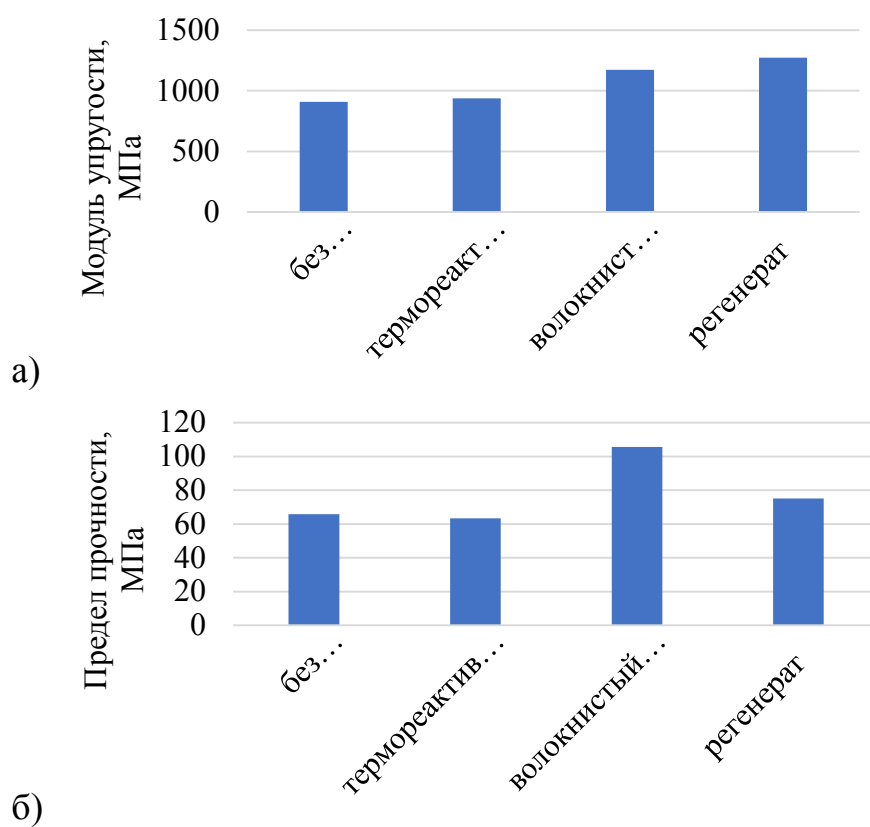


Рисунок 4 – Сравнительный анализ природы наполнителя на физико-механические характеристики композиционного материала

Таким образом результаты исследования показывают, для создания новых композиционных материалов возможно применение вторично переработанного стеклопластика на термореактивной матрице как в качестве добавки, так и в качестве основного наполнителя, а также выделенной фракции волокнистого наполнителя. Введение фракции термореактивной матрицы возможно в качестве добавки в существующие композиционные материалы на термореактивном связующем без потери качества с целью снижения их себестоимости.

Список литературы

1 Ившин С.С., Ившина А.А., Федоров А.В., Зарипова Д.Н., Утилизация стеклопластиков на основе фенолформальдегидной смолы / Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология / Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya / ChemChemTech. 2023, т.66, в.9, с.104-109

2 Ившин С.С., Ившина А.А., Зарипова Д.Н., Рахимов А.Р., Оценка возможности применения метода механо-активации для переработки волокнистых композитов на основе эпоксидных смол / Современные методы получения материалов, обработки поверхности и нанесения покрытий (Материаловедение-2023) : I Всероссийская конференция с международным участием, Казань, 30 марта – 01 2023 года. 2023, с.31-32

3 Ившин С.С., Применение продуктов вторичной переработки стеклоплатстика в качестве армирующего наполнителя филамента из АБС-пластика / Актуальные вопросы современного материаловедения: материалы XI международной молодежной научно-практической конференции. (г. Уфа, 18-19 июня 2024 г.) / отв. редактор А.А. Мухамедзянова. – Уфа: РИЦ УУНиТ, 2024. с.97-99

© Ившин С.С., Григорьев Р.Р., Ерлыгина М.А., 2026

УДК 547.327

СИНТЕЗ ГЕТЕРОАРИЛНИТРОНОВ НА ОСНОВЕ БЕТУЛОНОВОЙ КИСЛОТЫ

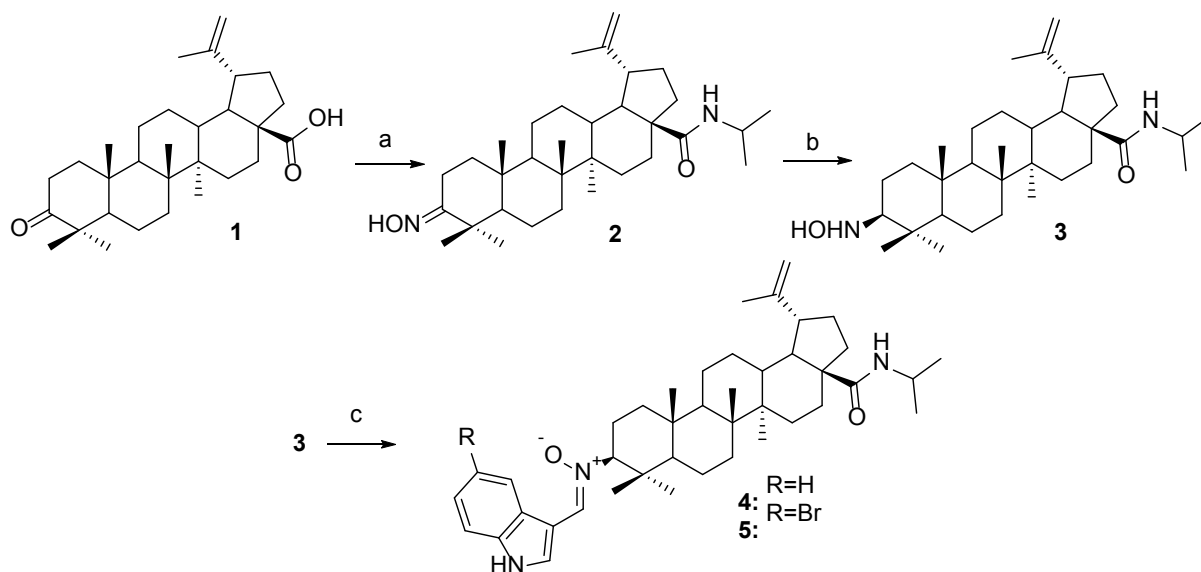
Исанбаев И.Ф.¹, Орлов А.В.², Комиссарова Н.Г.²

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

²Уфимский институт химии УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Нитроны — это соединения с выраженными антиоксидантными свойствами, потенциально способные подавлять окислительный стресс, который играет ключевую роль в развитии возрастных и нейродегенеративных заболеваний, таких как болезнь Альцгеймера, инсульт, диабет, рак и др. Нитроны, полученные на платформе вторичных метаболитов, обладающих антиоксидантными свойствами, могут рассматриваться как перспективная основа для разработки инновационных лекарственных препаратов.

Исходя из бетулоновой кислоты (**1**) через оксим (**2**) и гидросиламин (**3**) синтезированы тритерпеновые нитроны (**4**) и (**5**), содержащие в положении С-3 индолил- или 5-броминдолилнитронную группировку. Полученные соединения представляют новый тип потенциально биологически активных производных в ряду тритерпеноидов лупановой серии.



a. 1. $(\text{COCl})_2$, CH_2Cl_2 ; 2. $i\text{-PrNH}_2$, Et_3N , CH_2Cl_2 ; 3. $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$, Py , MeOH ; *b.* NaBH_3CN , MeOH , 2H HCl ; *c.* 3-индолкарбальдегид для **(4)**, 5-бром-3-карбальдегид для **(5)**, Na_2SO_4 , CH_2Cl_2

© Исанбаев И.И., Орлов А.В., Комиссарова Н.Г., 2026

УДК 340.155

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НАНОКОМПОЗИТОВ
СЕРА/КАРБОНАТ КАЛЬЦИЯ: ФУНГИЦИДНЫЕ СВОЙСТВА
И ФИТОСТИМУЛИРУЮЩИЙ ЭФФЕКТ В ОТНОШЕНИИ
ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ

Ишумбаева О.Д., Яншаев Д.С., Фаздалова И.Р., Ахметшина А.С.,
Дельмухаметов А.А.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Применение серосодержащих препаратов в агропромышленном комплексе имеет многолетнюю историю, однако традиционные формы фунгицидов на основе микронной серы характеризуются рядом существенных ограничений, включая высокие рабочие концентрации, низкую биодоступность активного компонента и риск накопления балластных веществ в почвенном горизонте [1, 2]. В контексте развития концепции «зелёной» агрохимии особую актуальность приобретает наноструктурирование действующих веществ, позволяющее за счёт увеличения удельной поверхности и изменения физико-химических параметров частиц существенно повысить их биологическую эффективность при снижении экологической нагрузки [3–6].

Настоящее исследование направлено на комплексную оценку биологической активности нанокompозитных систем, полученных методом совместного осаждения из полисульфидных растворов, в отношении фитопатогенных микроорганизмов и культурных растений. Особый интерес представляет изучение синергетических эффектов при комбинировании наносеры с карбонатом кальция, поскольку последний, обладая буферными свойствами и способностью к модификации поверхностных характеристик, может потенциально усиливать действие серной фазы [7, 12].

Экспериментальная часть работы включала два взаимосвязанных направления: оценку фунгицидной активности и изучение фитостимулирующего эффекта. Для определения минимальной ингибирующей концентрации (МИК) использовали стандартизированные тест-штаммы фитопатогенных грибов *Alternaria alternata* и *Aspergillus niger*, характеризующихся высокой вирулентностью и широким спектром хозяев в агроценозах. Штаммы поддерживали на скошенном агаре Сабуро при температуре 28 °С с периодическим пересевом каждые 30 суток для сохранения патогенных свойств [8, 9].

Приготовление рабочих суспензий осуществляли путём диспергирования навесок наносеры, нанокompозита S/CaCO₃ и микронной серы (контроль) в 96 % этиловом спирте с последующим ультразвуковым воздействием (22 кГц, 10 мин) для обеспечения гомогенности дисперсии. Расчётные концентрации препаратов в диапазоне 1–500 мг/мл вносили в расплавленную и охлаждённую до 50 °С питательную среду Сабуро, после чего проводили тщательное перемешивание для равномерного распределения активного компонента. Контрольные образцы содержали эквивалентный объём растворителя без исследуемых веществ. После застывания агара в центр чашки Петри вносили мицелиальный инокулюм диаметром 5 мм, отобранный из периферийной зоны активно растущей культуры. Инкубацию проводили в термостате при 28 ± 1 °С в течение 5 суток с ежедневной регистрацией линейного роста колоний. Критической концентрацией считали минимальное значение, при котором фиксировалась полная задержка развития мицелия относительно контроля [6, 8, 10, 11].

Оценку фитостимулирующей активности проводили на зерновках пшеницы (*Triticum aestivum* L., сорт «Экада 66»), отобранных по единым морфологическим признакам. Предварительную подготовку семян осуществляли путём замачивания в дистиллированной воде при 25 °С в течение 24 ч для синхронизации прорастания. Проросшие зерновки с длиной корешка 2–3 мм размещали в чашки Петри на фильтровальную бумагу, увлажнённую исследуемыми растворами. Оптимальную концентрацию препаратов определяли методом серийных разведений, варьируя содержание активного компонента от 5 до 100 мг/л. На основании предварительных исследований [12] во все опытные варианты добавляли глицерин в концентрации 8 мл/л в качестве осморегулятора и ко-стимулятора, способствующего улучшению проникновения наночастиц через клеточные барьеры. Контрольные образцы содержали только воду с эквивалентным количеством глицерина. Через 72 ч инкубации при 25 °С проводили биометрические измерения: фиксировали длину побега и первичного корня каждого проростка с точностью до 0,5 мм. Статистическую обработку данных осуществляли с использованием дисперсионного анализа; каждую серию опытов повторяли десятикратно по 15 зерновкам в повторности (общая выборка n=150), что обеспечивало достоверность результатов при уровне значимости p<0,05 и среднеквадратичной ошибке 3–4 % [7].

Результаты и обсуждение. Анализ фунгицидной активности выявил существенные различия в эффективности наноразмерных и микронных форм серы. Для обоих тест-штаммов грибов (*A. alternata* и *A. niger*) полная ингибция мицелиального роста достигалась при концентрации наносеры 20 мг/мл. Примечательно, что нанокompозит S/CaCO₃ демонстрировал идентичную эффективность при той же концентрации серной фазы, что однозначно свидетельствует о ведущей роли наносеры в реализации

антигрибкового эффекта, тогда как карбонат кальция выступает в роли инертного носителя, не оказывающего самостоятельного воздействия на метаболизм фитопатогенов. Для сравнения, традиционные смачивающиеся порошки на основе микронной серы (средний диаметр частиц ≈ 20 мкм) обеспечивали полное подавление роста только при концентрации 250 мг/мл, что подтверждает 12,5-кратное преимущество нанодисперсий по критерию биологической эффективности [4–6].

Механизм усиления фунгицидного действия при переходе к наноразмерному состоянию обусловлен комплексом физико-химических факторов. Во-первых, увеличение удельной поверхности частиц на 2–3 порядка величины интенсифицирует контакт активного вещества с клеточной стенкой гриба, облегчая проникновение серы в апопластическое пространство. Во-вторых, высокая реакционная способность наносеры способствует генерации активных форм кислорода (АФК) в приклеточной зоне, что индуцирует окислительный стресс, нарушает целостность мембранных структур и ингибирует ключевые ферментативные системы, ответственные за синтез эргостерола и хитина [8–11]. В-третьих, наночастицы способны проникать через поры клеточной стенки (диаметром 5–20 нм), достигая цитоплазматической мембраны и непосредственно влияя на внутриклеточные процессы.

В фитостимулирующих испытаниях установлена чёткая градация биологической активности исследуемых препаратов. Нанокарбонат кальция в моноформе проявлял минимальный эффект, увеличивая длину побегов на 7 % относительно контроля, что соответствует фоновому влиянию ионов кальция на стабилизацию клеточных стенок и регуляцию мембранной проницаемости. Наносера демонстрировала умеренную стимулирующую активность (прирост побегов на 25 %), согласующуюся с её известной ролью в биосинтезе серосодержащих аминокислот (цистеин, метионин) и фитогормонов, регулирующих деление и растяжение клеток. Максимальный эффект зафиксирован для нанокомпозита S/CaCO₃: длина побегов увеличивалась на 55 %, а первичных корней – на 45 % по сравнению с контрольными образцами. Столь выраженный синергизм можно объяснить совместным действием компонентов: сера активирует метаболические пути, связанные с азотным обменом и синтезом белков, тогда как карбонат обеспечивает буферную стабилизацию pH ризосферы, улучшая доступность макро- и микроэлементов и создавая благоприятные условия для корневого питания [6, 12].

Важным аспектом является роль глицерина как ко-стимулятора. Предварительные исследования показали, что трёхатомные спирты способны модифицировать поверхностное натяжение водных дисперсий, облегчая смачивание семенной оболочки и проникновение наночастиц через апопластические пути к меристематическим тканям [12]. В отсутствие глицерина стимулирующий эффект нанокомпозита снижался на

15–20 %, что подтверждает целесообразность использования органических добавок для оптимизации доставки активных компонентов.

Сравнительный анализ с микронными аналогами выявил принципиальные различия в дозозависимости биологического ответа. При концентрациях до 25 мг/л микронная сера и композит на её основе не оказывали статистически значимого влияния на морфогенез проростков, что объясняется низкой растворимостью и ограниченной биодоступностью крупных частиц. Превышение данного порога приводило к ингибированию роста, вероятно, вследствие осмотического стресса и механического повреждения клеточных структур агрегированными частицами [1, 2, 7]. В противоположность этому, нанодисперсии сохраняли стимулирующую активность в широком диапазоне концентраций (10–50 мг/л), демонстрируя высокую толерантность растений к наноразмерным формам активного вещества.

Проведённые исследования убедительно демонстрируют преимущества наноструктурированных форм серы и её композитов с карбонатом кальция в сравнении с традиционными микронными препаратами. Установлено, что фунгицидная активность наносеры превосходит микронные аналоги в 12,5 раз по критерию минимальной ингибирующей концентрации, что открывает перспективы для существенного снижения пестицидной нагрузки на агроэкосистемы. Выявленный синергетический эффект нанокомпозита S/CaCO₃ в фитостимулирующих испытаниях (прирост побегов на 55 %, корней на 45 %) обосновывает его применение в качестве многофункционального средства для предпосевной обработки зерновых культур. Карбонатный компонент, не проявляя самостоятельной биологической активности, выполняет важные технологические функции: стабилизирует дисперсию, модифицирует поверхностные свойства и обеспечивает буферное действие в ризосфере. Полученные данные свидетельствуют о высоком потенциале нанокомпозитов сера/карбонат кальция для разработки экологически безопасных препаратов нового поколения, сочетающих фунгицидную защиту и стимуляцию роста растений на ранних этапах онтогенеза [8–12].

Список литературы

1. Массалимов И.А., Хусаинов А.Н., Зайнитдинова Р.М. и др. Получение и свойства коллоидной серы из полисульфидных систем // Журн. прикл. химии. 2014. Т. 87. № 5. С. 705–712.
2. Уракаев Ф.Х., Булавченко А.И., Уралбеков Б.М. и др. Наноразмерная сера: методы синтеза и биологическая активность // Коллоид. журн. 2016. Т. 78. № 2. С. 193–201.
3. Massalimov I.A., Medvedev U.A., Zaynitdinova R.M. et al. Antifungal properties of nanosulfur // Nanotechnol. Nanosci. 2012. V. 3. P. 55–60.

4. Massalimov I.A., Zaynitdinova R.M., Shaynurova A.R. et al. Efficacy of colloidal sulfur against phytopathogens // Int. J. Sci. 2013. V. 2. P. 25–31.
 5. Massalimov I., Medvedev Y., Urakaev F. et al. Bioactivity of sulfur nanoparticles in agricultural applications // American-Eurasian J. Agricult. Environ. Sci. 2016. V. 16. P. 652–658.
 6. Массалимов И.А., Давлетов Р.Д., Гайфуллин Р.Р. и др. Противогрибковая активность наносеры в агроценозах // Вестник защиты растений. 2013. № 4. С. 61–67.
 7. Yugandhar P., Savithramma N. Effect of nanoparticles on seed germination // Int. J. Adv. Res. 2013. V. 1. P. 89–95.
 8. Мельников Н.Н. Пестициды. Химия, технология и применение. М.: Химия, 1987. 640 с.
 9. Кашкин П.Н., Лисин В.В. Практическое руководство по медицинской микологии. Л.: Медицина, 1983. 312 с.
 10. ТУ 113-04-327-90. Сера 80% смачивающийся порошок. М.: Минхимпром, 1990.
 11. ТУ 113-04-232-86. Сера 90% смачивающийся порошок. М.: Минхимпром, 1986.
 12. Массалимов И.А., Абдракипова Л.Ф., Мустафин А.Г. Влияние органических добавок на ростовые процессы в нанодисперсиях // Нанотехника. 2010. № 1. С. 66–71.
- © Ишумбаева О.Д., Яншаев Д.С., Фаздалова И.Р.,
Ахметшина А.С., Дельмухаметов А.А., 2026

УДК 340.155

НИКЕЛЬ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ: СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ

Канзафарова Р.Р., Куксо П.А.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Никель и его соединения широко применяются в промышленности (коррозионно-стойкие сплавы, катализаторы, аккумуляторы, гальванические покрытия). Координационные амминные комплексы никеля служат удобными прекурсорами для получения чистого металла и используются в аналитической химии. Цель работы – изучение свойств, способов получения и областей применения никеля, а также синтез $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$.

Промышленные методы получения никеля – пирометаллургия (обжиг, восстановление) и гидрометаллургия (выщелачивание, электролиз). Никель – переходный металл с ГЦК-решёткой, ферромагнетик (температура Кюри 358 °С), устойчив к коррозии. Наиболее стабильна степень окисления +2, для которой характерны октаэдрические комплексы.

Применение никеля: металлургия (нержавеющие стали, суперсплавы), катализ (Raney-Ni), энергетика (Ni–Cd и Ni–МН аккумуляторы).

Экспериментально осуществлён синтез $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$ из $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (5,00 г) и 25 % NH_3 (12,5 мл). Стадии: растворение соли, добавление аммиака, упаривание, кристаллизация, фильтрование, промывка этанолом, сушка. Выход составил 86,1 % (4,20 г). Идентификация: сине-фиолетовый цвет, положительные реакции с диметилглиоксимом (Ni^{2+}) и AgNO_3 (Cl^-), характерные полосы NH_3 в ИК-спектре.

Таким образом, обобщены данные о способах получения никеля. Показана склонность $\text{Ni}(\text{II})$ к образованию аминных комплексов. Разработана воспроизводимая лабораторная методика синтеза $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$ с выходом 86 %. Предложенная методика может использоваться в учебных лабораториях.

Список литературы

1. Донченко Л.В., Фирсов Г.Г. Пектин: основные свойства, производство и применение. – М.: ДеЛи, 2007. – 276 с.

© Канзафарова Р.Р., Куксо П.А. 2026

УДК 547.917

СИНТЕЗ α -ПИРОНОВ НА ОСНОВЕ ЛЕВОГЛЮКОЗЕНОНА

Каримов Р.Р.¹, Миннибаева Э.М.¹, Халилова Ю.А.², Файзуллина Л.Х.²

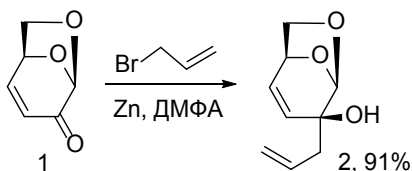
¹Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

²Уфимский институт химии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

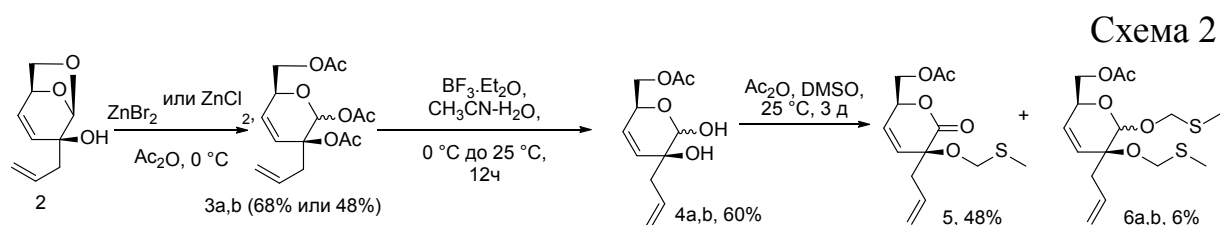
Левоглюкозенон, получаемый из биомассы, представляет собой удобную платформу для тонкого органического синтеза [1-3]. Его тетрагидропирановый фрагмент открывает возможности для получения биологически активных α -пиронов.

Для синтеза α -пиронов, содержащих фармакофорную двойную связь, мы получили аддукт 1,2-присоединения левоглюкозенона **1** и бромистого аллила (Схема 1).

Схема 1



С целью получения лактонного фрагмента мы изучили реакцию раскрытия 1,6-ангидромостика в аддукте **2**. Гидролиз ацетатных групп в соединениях **3a,b** привел селективно, как и в предыдущей работе [4], к образованию целевых диолов **4a,b** (Схема 2).



α -Пирон **5** удалось получить в условиях реакции окисления действием Ac_2O -DMSO. Реакция протекала с образованием желаемого α -пирона **5** и метилтиометилловых эфиров **6a,b**.

На основе доступной хиральной молекулы левоглюкозенона разработан эффективный синтез фармакоперспективного α -пирона. Полученное соединение содержит двойные связи, что критически важно для проявления его цитотоксических свойств. Так как левоглюкозенон легко вступает в реакции присоединения по Михаэлю, наш метод открывает возможности для синтеза целого ряда α -пиранов, с различными функциональными группами.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Химия» УФИХ РАН и РЦКП «Агидель» УФИЦ РАН.

Работа выполнена по теме госзадания № 125020601627-6.

Список литературы:

1. A. M. Sarotti, M. M. Zanardi, R. A. Spanevello. *Curr. Org. Synth.* **2012**, 9 (4), 439-459. DOI:10.2174/157017912802651401;
2. M. B. Comba, Y.-h. Tsai, A. M. Sarotti, M. I. Mangione, A. G. Suárez, R. A. Spanevello. *Eur. J. Org. Chem.* **2018**, 5, 590-604. DOI:10.1002/ejoc.201701227;
3. M. S. Miftakhov, F. A. Valeev, I. N. Gaisina. *Russ. Chem. Rev.* **1994**, 63 (10), 869-882. DOI:10.1070/rc1994v063n10abeh000123
4. Yu. A. Khalilova, L. Kh. Faizullina, Sh. M. Salikhov, F. A. Valeev, *Mendeleev Commun.*, 2024, **34**, 521–522, DOI: 10.1016/j.mencom.2024.06.016

© Халилова Ю.А., Миннибаева Э.М., Халилова Ю.А.,
Файзуллина Л.Х., 2026

УДК 546.41: 615.46 / 615.8

УЧАСТИЕ ГИДРОСИПАТИТОВ В ОРГАНИЗАЦИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ

Китикова И.И., Ямансарова Э.Т.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия,

Гидроксиапатит является основным минеральным компонентом костной ткани и зубной эмали человека. Благодаря высокой биосовместимости и способности участвовать в процессах минерализации данный материал широко применяется в медицине, стоматологии и тканевой инженерии.

Целью работы являлась систематизация данных по строению, свойствам, методам получения и применению гидроксиапатита в живых системах и биомедицинских технологиях.

Гидроксиапатит представляет собой фосфат кальция с химической формулой: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Он является основным минералом костной ткани и зубной эмали. В костях гидроксиапатит находится в виде нанокристаллов, связанных с коллагеном I типа. Такое сочетание обеспечивает уникальные свойства костной ткани: коллаген отвечает за эластичность, а гидроксиапатит — за прочность и устойчивость к сжатию. Кристаллическая структура гидроксиапатита относится к гексагональному типу и обладает высокой устойчивостью. Одной из важнейших особенностей материала является способность к ионному замещению.

Гидроксиапатит играет важную роль в строении костной ткани и зубной эмали. В костях он взаимодействует с коллагеном, обеспечивая прочность и механическую устойчивость тканей. В зубной эмали гидроксиапатит является основным минеральным компонентом [1].

Ключевыми свойствами являются биосовместимость, остеокондуктивность, биоактивность, способность к адсорбции биомолекул. Благодаря биосовместимости материал практически не вызывает иммунного ответа. Остеокондуктивность позволяет ему служить каркасом для роста новой костной ткани. Также важно отметить, что в кислой среде растворимость гидроксиапатита возрастает, что играет роль в процессах деминерализации зубной эмали.

Важной особенностью гидроксиапатита является возможность модификации его структуры. Замещение отдельных ионов позволяет изменять свойства материала: фтор повышает устойчивость к кислотам; магний и стронций стимулируют рост костной ткани; серебро и цинк придают антибактериальные свойства.

Нанодисперсный гидроксиапатит обладает повышенной биологической активностью и лучше взаимодействует с клетками организма.

К наиболее распространённым методам получения гидроксиапатита относится метод химического осаждения, основанный на взаимодействии соединений кальция и фосфора в щелочной среде. Также применяются гидротермальный синтез; твердофазный метод; биогенные способы получения. Современные технологии позволяют получать материал с заданной пористостью, размером частиц и уровнем кристалличности [2].

Гидроксиапатит широко применяется в ортопедии, стоматологии и тканевой инженерии. Он используется для создания костных имплантатов; покрытий для титановых конструкций; материалов для восстановления зубной эмали; трёхмерных каркасов для выращивания костной ткани [3].

В заключение можно сделать вывод, что гидроксиапатит является одним из наиболее перспективных биоматериалов современной медицины. Его высокая биосовместимость, способность участвовать в процессах

минерализации и возможность модификации открывают широкие перспективы для регенеративной медицины и тканевой инженерии.

Список литературы:

1. Shafiq Uz Zaman, Muhammad Irfan, Masooma Irfan, Nawshad Muhammad, Muhammad Khaliq U Zaman, Abdur Rahim, Saif-Ur-Rehman. Overview of hydroxyapatite; composition, structure, synthesis methods and its biomedical uses // Biomedical Letters. – 2020. – Vol 6, № 1. – P. 84-99
2. Markelov V.A., Danilko K.V., Solntsev V.A., Pyatnitskaya S.V., Bilyalov A.R. Application of hydroxyapatite obtained by different techniques: metabolism and microarchitecture characteristics (review) // *Sovremennye tehnologii v medicine* 2024; Т. 16, №6. - С. 60- 77, <https://doi.org/10.17691/stm2024.16.6.063>.
3. Imran, E.; Mei, M.L.; Li, K.C.; Ratnayake, J.; Ekambaram, M.; Cooper, P.R. Dental Applications of Ion-Substituted Hydroxyapatite: A Review of the Literature. // *Dent. J.* – 2024. – Vol. 12/ - P. 304. <https://doi.org/10.3390/dj12100304>

© Китикова И.И., Ямансарова Э.Т., 2026

УДК 541.14: 547.551.2

АНТИОКИСЛИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ СПИРТОВЫХ ЭКСТРАКТОВ, ИЗВЛЕЧЕННЫХ ИЗ ПИЩЕВЫХ КУЛЬТУР

Ларионова Д.Г., Зырянова С.А., Мустафина Э.З.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

К настоящему времени актуальным является поиск природных антиоксидантов как источников сырья для промышленной пищевой биотехнологии, медицины и косметологии. Добавление природных антиоксидантов в продукты питания, косметические средства, в лекарства позволяет удлинить срок их пригодности. Особое внимание уделяется ресурсным видам, плодово-ягодным культурам, пищевым культурам, содержащим высокий уровень антиоксидантов. Накопление в растительном сырье веществ, обладающих ингибирующими свойствами, зависит от множества факторов: состава почвы, климатических условий произрастания, времени года выращивания, способов хранения [1,2]. Актуальным является исследование влияния сроков вегетации растительного сырья на процесс накопления в них компонентов, обладающих ингибирующими свойствами. В настоящей работе исследовали зависимость антиокислительных свойств спиртовых экстрактов, извлеченных из следующих видов пищевых продуктов: редиски, горчицы, кресс- салата, капусты брокколи.

Влияние спиртовых экстрактов из пищевых продуктов исследовали на модельной реакции инициированного окисления этанола. Выбор модельной системы определяется тем, что для этанола известны значения

элементарных констант скоростей реакций продолжения и обрыва цепей. За процессом окисления этанола следили по поглощению кислорода [3,4]. Скорость поглощения кислорода измеряли на высокочувствительной дифференциальной манометрической установке. По кинетическим кривым поглощения кислорода вычисляли величину скорости поглощения кислорода.

Стандартным опытом является реакция окисления этанола в присутствии традиционного инициатора – азоизобутиронитрила. В специальных опытах установлен кинетический режим окисления модельного субстрата, когда скорость поглощения кислорода не зависит от его концентрации. В кинетическом режиме окисления реакции продолжения и обрыва цепей ведут оксипероксильные радикалы спирта; частный порядок реакции по кислороду нулевой [3,4].

В дальнейшем в систему добавляли спиртовые экстракты из исследованных продуктов питания. Объемная доля добавленных спиртовых экстрактов в реакционной системе равна 0,025 и 0,050% (объемных). Внесение в реактор экстрактов пищевых продуктов приводят к значительному снижению скорости окисления этанола. Данный экспериментальный результат доказывает эффект ингибирования исследуемой реакции добавками экстрактивных веществ, извлеченных из исследованных продуктов питания. Среди исследованных пищевых продуктов наибольшей ингибирующей способностью обладает спиртовой экстракт из редиски. Установлена связь между ингибирующими свойствами спиртовых экстрактов, извлеченных из продуктов питания, от объемной доли экстракта в системе: чем больше объемная доля экстракта в реакторе, тем больше эффект ингибирования. Большое влияние на антиокислительные их свойства оказывает сроки произрастания пищевых культур. Для некоторых пищевых культур наблюдается экстремальный характер накопления ингибирующих компонентов в зависимости от сроков вегетации. Полученный результат имеет важное практическое значение: сбор пищевого сырья нужно будет провести, когда в них накопилось максимальные концентрации ингибирующих добавок.

Таким образом, спиртовые экстракты из пищевых продуктов могут быть использованы в качестве добавок для снижения скорости нежелательных окислительных процессов в продуктах питания и в производстве лекарственных препаратов. Немаловажным является учет тех сроков вегетации, когда в пищевых продуктах накопилось наибольшие количества веществ, обладающих антиокислительными свойствами.

Список литературы

1. Р.Н. Насретдинова, Г.Г. Гарифуллина, М.М. Ишмуратова, Л.А. Головина, А.Р. Ишбирдин. Влияние сока смородины черной (*Ribesnigrum*L.) сортов башкирской селекции на процесс окисления

этанола. // Вестник Башкирского университета. – 2026. – Т. 31, №1. – С. 57-62.

2. Гарифуллина Г.Г., Насретдинова Р.Н., Ишмуратова М.М., Головина Л.А. Антиоксидантная активность спиртовых экстрактов почек смородины черной (RIBESNIGRUM L.) сортов Башкирской селекции. // Вестник Башкирского университета. – 2025. – Т. 30, №1. – С. 51-55.

3. Гарифуллина Г.Г., Насретдинова Р.Н., Гатиятуллина А.И., Мустафин А.Г., Петрова А.В. Влияние заместителей на антиокислительную активность терпеноидов в модельной реакции окисления этилбензола. Вестник Башкирского государственного университета. 2022, т.37, № 4, с. 1007-1015.

4. Garifullina G.G., Nasretdinova R.N., Gerchikov A.Ya., Shaymordanova G.M., Petrova A.V., Mustafin A.G. Antioxidant efficiency of triterpenoids in radical chain oxidation of organic compounds. Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis. 2024. T. 137. № 1. С. 39-51.

© Ларионова Д.Г., Зырянова С.А., Мустафина Э.З, 2026

УДК 541.64+541.68+547.467

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ НИЗКО- И ВЫСОКОМЕТОКСИЛИРОВАННОГО ПЕКТИНОВ И ДИГИДРАЗИДА ЯНТАРНОЙ КИСЛОТЫ

Лежнина В.О.¹, Мухамедзянова А.А.¹, Исканьярова Р.Г.²,
Сагитова А.Ф.¹, Мингалеева Г.Р.²

¹Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

²Уфимский институт химии УФИЦ РАН, Уфа, Россия.

Пектиновые гидрогели представляют собой перспективный класс биосовместимых материалов, способных удерживать значительное количество воды и формировать трехмерную полимерную сетку. Благодаря биodeградируемости и низкой токсичности они рассматриваются как перспективные материалы для контролируемой пероральной доставки лекарственных веществ и созданию 3D-каркасов для регенеративной медицины [1-3].

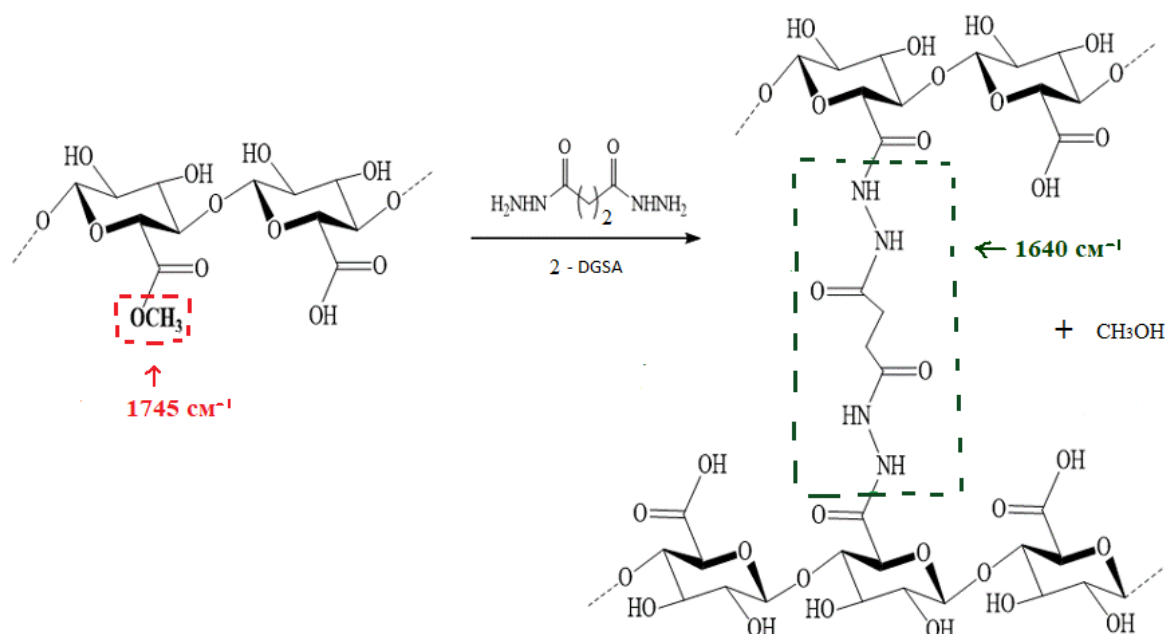
В данной работе проведены исследования синтеза и реологических свойств гидрогелей на основе высоко- и низкометоксилированного пектинов, сшитых дигидразином янтарной кислоты без использования катализаторов. В качестве исходных образцов использовали коммерчески доступные пектины марок Watt-N и Пудовъ. Средневязкостную молекулярную массу определяли по уравнению Марка-Куна-Хаувинка (1), а степень этерификации – методом потенциометрического титрования (2).

$$[\eta] = K M^{\alpha} \quad (1)$$

$$DE = V_2 / (V_1 + V_2) \cdot 100 \quad (2)$$

Установлено, что образец пектина марки Watt-N относится к низкометоксилированным пектинам и характеризуется значениями: $M_v = 289 \pm 1$ кДа и $DE = 41\%$, тогда как образец марки Пудовъ относится к высокометоксилированным пектинам — $M_v = 372 \pm 1$ кДа и $DE = 77\%$. Более высокая степень этерификации высокометоксилированного пектина свидетельствует о большем содержании метоксильных групп, способных участвовать в реакции образования ковалентных связей

Синтез гидрогелей осуществляли в водной среде при взаимодействии пектина с дигидразидом янтарной кислоты. В ходе реакции происходило взаимодействие метоксильных групп пектина с гидразидными группами кросс-линкера с образованием ацилгидразидных связей [4]. Побочным продуктом реакции являлся метанол, образующийся при замещении метоксильных групп пектина на гидразидную группу. Для получения гидрогелей использовали 2,4,6, и 10%-ные растворы дигидразида янтарной кислоты. Общая схема синтеза гидрогелей представлена ниже.



Синтез гидрогелей на основе пектина с дигидразидом янтарной кислоты

Для подтверждения химического строения полученных гидрогелей был проведен анализ методом ИК-Фурье спектроскопии. Для исходных образцов пектина наблюдалась полоса поглощения около 1745 cm^{-1} , соответствующая валентным колебаниям метоксильных групп, а также сигнал около 1610 cm^{-1} , относящийся к карбоксильным группам пектина. Для дигидразида янтарной кислоты характерен сигнал около 1629 cm^{-1} , обусловленный присутствием гидразидных групп (рис.1.). После проведения реакции сшивания в спектрах гидрогелей появляется новая полоса около 1640 cm^{-1} , соответствующая ацилгидразидным связям. Одновременно наблюдалось уменьшение интенсивности полосы при 1745 cm^{-1} , что подтверждает участие метоксильных групп в процессе

формирования полимерной сетки. Сигнал около 1610 см^{-1} сохраняется во всех образцах, поскольку карбоксильные группы не участвуют непосредственно в реакции и остаются в структуре гидрогеля.

При сравнении образцов высокометоксилированного пектинов с 2 и 10%-ным содержанием дигидразида янтарной кислоты установлено, что увеличение концентрации дигидразида янтарной кислоты приводит к усилению полосы около 1640 см^{-1} и уменьшению интенсивности полосы метоксильных групп, что свидетельствует об увеличении числа ацилгидразидных сшивок и степени сшивания гидрогеля (рис.2.).

Реологические свойства гидрогелей исследовали на осцилляторном реометре Anton Paar MCR 101. Амплитудный тест использовали для определения области линейной вязкоупругости и оценки устойчивости структуры гидрогелей к деформации [5].

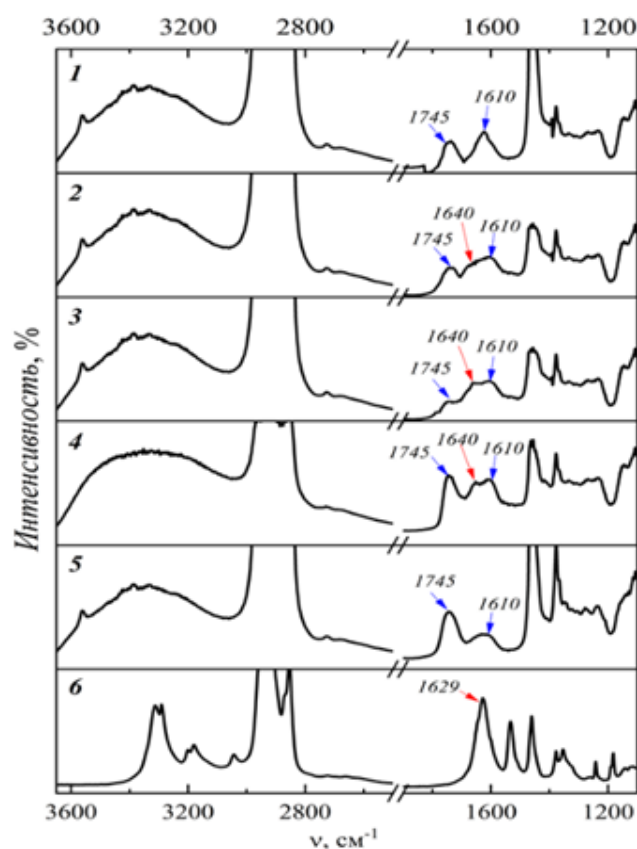


Рисунок 1. ИК-спектры исходных пектинов, дигидразида янтарной кислоты и гидрогелей низко- и высокометоксилированного пектинов с 4, 6 и 10%-ным содержанием дигидразида янтарной кислоты

Для образцов низкометоксилированного пектинов с 2,4 и 10%-ным содержанием дигидразида янтарной кислоты наблюдалось условие $G' < G''$, что свидетельствует о преобладании вязких свойств. Для образца низкометоксилированного пектина выполнялось условие $G' > G''$, характерное для сформированной гелевой структуры. Для всех образцов на основе высокометоксилированного пектина значения модуля накопления превышали значения модуля потерь (рис. 3).

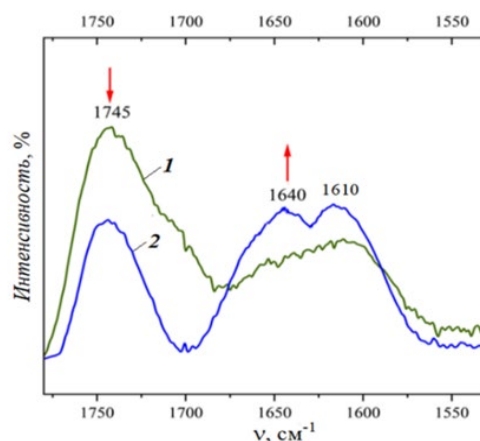


Рисунок 2. ИК-спектры гидрогелей высокометоксилированного пектинов с 2 и 10%-ным содержанием дигидразида янтарной кислоты

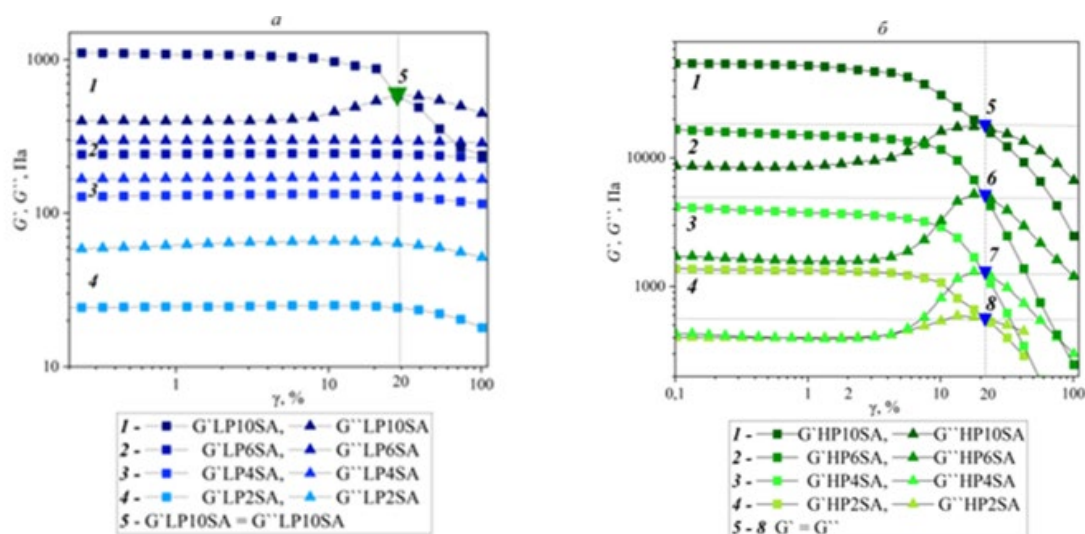


Рисунок 3. Кривые реологического амплитудного теста гидрогелей из низкометоксилированного (а) и высокометоксилированного (б) пектина

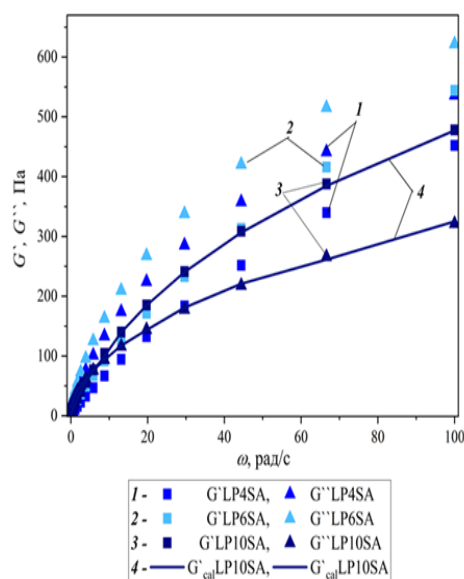


Рисунок 4. Зависимость модуля накопления G' и модуля потерь G'' от угловой частоты для гидрогелей из низкометоксилированного пектинов с 4,6 и 10%-ным содержанием дигидразида янтарной кислоты

Результаты частотного теста показали, что для гидрогелей низкометоксилированного пектинов с 4 и 6%-ным содержанием дигидразида янтарной кислоты вязкие свойства преобладают над упругими. Для низкометоксилированного пектина с 10%-ным содержанием дигидразида янтарной кислоты наблюдается формирование устойчивой пространственной сетки, о чем свидетельствует выполнение условия $G' > G''$ во всем исследованном диапазоне частот (рис.4).

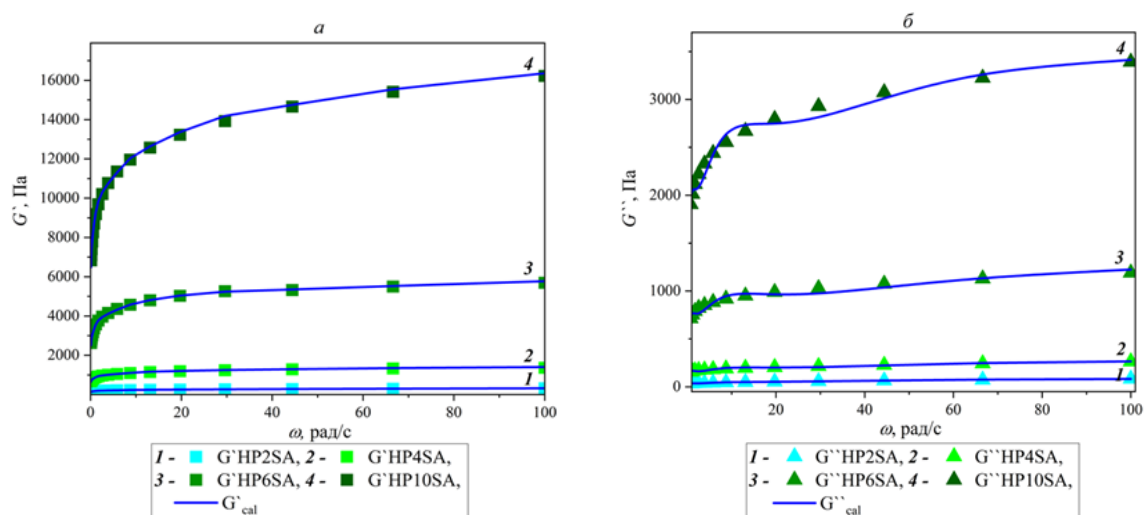


Рисунок 5. Зависимость а) модуля накопления G' ; б) модуля потерь G'' от угловой частоты для гидрогелей из высокометоксилированного пектина

Для гидрогелей на основе высокометоксилированного пектина увеличение концентрации дигидразида янтарной кислоты приводит к росту значений модуля накопления G' . Полученные результаты свидетельствуют об увеличении плотности пространственной сетки и улучшении механических свойств гидрогелей (рис.5).

Таким образом, определены средневязкостная молекулярная масса и степень этерификации коммерчески доступных образцов пектина марок Watt-N и Пудовь: $M_v=289\pm1$ кДа; DE=41% и $M_v=372\pm1$ кДа; DE=77%, соответственно. Получены гидрогели на основе низко- и высокометоксилированного пектинов с использованием 2%, 4%, 6% и 10% растворов дигидразида янтарной кислоты без применения катализаторов. Методом ИК-Фурье спектроскопии установлено образование ацилгидразидных связей в структуре гидрогелей, о чем свидетельствует появление полосы поглощения около 1640 см^{-1} и уменьшение интенсивности полосы метоксильных групп при 1745 см^{-1} . Реологические исследования показали, что гидрогели на основе высокометоксилированного пектина обладают более выраженными упругими свойствами. Для образцов высокометоксилированного пектина условие $G' > G''$ наблюдалось уже при 2%-ом содержании кросс-линкера, тогда как для низкометоксилированного пектина стабильная гелевая

структура формировалась только при 10%-ом растворе дигидразида янтарной кислоты.

Полученные материалы представляют интерес для дальнейшего использования в технологиях адресной доставки лекарств и создании биомедицинских материалов.

Список литературы

1. Martău G. A., Mihai M., Vodnar D. C. The use of biopolymers in biomedical applications // *Polymers*. – 2019. – Vol. 11. – P. 1837.
2. Munarin F., Tanzi M. C., Petrini P. Advances in biomedical applications of pectin gels // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2012. – Vol. 51, №. 4. – P. 681–689.
3. Lara-Espinoza C., Carvajal-Millán E., Balandrán-Quintana R., López-Franco Y., Rascón-Chu A. Pectin and pectin-based composite materials: beyond food texture // *Molecules*. – 2018. – Vol. 23, № 4. – P. 942.
4. Würfel H., Geitel K., Heinze T. Efficient heterogeneous synthesis of reactive polygalacturonic acid hydrazides // *Carbohydrate Polymers*. – 2021. – Vol. 261. – Art. 117838
5. Groult S., Buwalda S., Budtova T. Rheological properties of cellulose-based hydrogels // *European Polymer Journal*. – 2021. – Vol. 149. – P. 110386.

© Лежнина В.О., Мухамедзянова А.А., Исканьярова Р.Г.,
Сагитова А.Ф., Мингалеева Г.Р., 2026

УДК 678

АКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДИЗАЙН-ИНДУСТРИЯХ, СВЯЗАННЫЕ С ПОЛИМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Каримова Э.Р.^{1,2}, Лимаренко О.В.¹

¹*Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа,
Россия*

²*Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия*

Современный дизайн переживает эпоху технологической трансформации. Интеграция передовых материалов и цифровых инструментов радикально меняет подходы к проектированию, производству и пользовательскому опыту. Особое место в этом процессе занимают полимерные материалы, благодаря их уникальным физико-химическим свойствам, вариативности применения и потенциалу для инноваций.

Полимеры (пластмассы, эластомеры, композиты на полимерной основе) давно вышли за рамки утилитарного применения. Сегодня они становятся ключевым элементом дизайнерских решений в архитектуре, промышленном дизайне, графическом оформлении и даже цифровых интерфейсах. Их пластичность, лёгкость, прочность, возможность

окрашивания и текстурирования открывают безграничные возможности для креатива [1,2].

Целью данной статьи является систематизация и оценка влияния передовых полимерных технологий и сопутствующих цифровых инструментов на проектирование, производство и пользовательский опыт в различных сферах дизайна.

Современная индустрия пластмасс требует постоянных инноваций, которые позволят не только улучшить качество изделий, но и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Рассмотрим некоторые актуальные направления пластиковой индустрии.

3D-печать полимеров – это процесс создания трёхмерных объектов на основе цифровой модели методом послойного нанесения полимерных филаментов и фотополимеров. Ключевыми технологиями процесса являются FDM (Fused Deposition Modeling) – экструзия термопластиков (PLA, ABS, PETG), SLA (Stereolithography) – отверждение жидких фотополимеров под УФ-излучением и SLS (Selective Laser Sintering) – лазерное спекание порошковых полимеров (PA12, TPU).

Влияние аддитивного производства на дизайн-процессы проявляется в ускорении прототипирования, реализации сложных форм и структур и кастомизации. Дизайнеры могут разрабатывать сложные предметы декора, которые было бы трудно или даже невозможно изготовить традиционными методами. 3D-принтеры могут производить уникальные предметы на основе запросов покупателей за несколько часов или дней, в зависимости от сложности объекта. При этом минимизируется расход сырья и количество отходов, так как материал добавляется строго в соответствии с необходимыми параметрами.

Примерами использования 3D-печати в дизайне являются Башня Tor Alva, Игровая площадка в Китае Шанхайской студии XISUI Design, Калянный лаундж в Дубае, уличные скамейки проекта *The New Raw* и др. [3,4]

Умные полимеры и интерактивные поверхности – это материалы, изменяющие свойства под воздействием внешних стимулов. Термохромные полимеры меняют цвет при нагреве, фоточувствительные реагируют на свет, электроактивные деформируются под током и самовосстанавливающиеся полимеры затягивают микротрещины. Эти свойства придают объектам дизайна динамичность, цвет и форма становятся носителями информации, тактильные интерфейсы с обратной связью обеспечивают UX/UI-интеграцию, а самовосстановление продлевает срок службы изделий.

Примерами применения «умных материалов» в дизайне являются термочувствительные обои и краски, меняющие узор в зависимости от температуры, смарт-стекло различной степени прозрачности в зависимости от электрического напряжения, антивандальные и

самовосстанавливающиеся обои, обладающие высокой устойчивостью к повреждениям, порезам и царапинам и др. [5,6]

Биополимеры – полимеры, полученные из возобновляемого сырья (крахмал, целлюлоза, хитин) или биоразлагаемые синтетические аналоги (PLA, PHA). Ключевыми трендами являются композиты с натуральными волокнами (лён, конопля), мицелиевые материалы (грибной мицелий как основа для панелей) и водорастворимые полимеры для временной упаковки. Эти материалы отвечают устойчивому развитию и экодизайну, проектирование изделий осуществляется с учётом полной биodeградации или вторичной переработки.

Примеры применения в архитектуре и дизайне: павильон MycoTree (Seoul Biennale 2017) из мицелиевых блоков, скульптура Tree One от практики EcoLogicStudio из биоразлагаемого биополимера, коллекция одежды Stella McCartney из биополимерного материала Mylo (аналог кожи на основе мицелия) и др. [7]

Цифровые инструменты для моделирования полимерных объектов: CAD-системы, CAE-системы, программы для 3D-печати и научные пакеты. Эти инструменты помогают решать задачи проектирования, анализа процессов с участием полимеров и подготовки моделей для 3D-печати.

CAD-системы (Autodesk Moldflow, Fibersim) позволяют создавать 3D-модели полимерных изделий, учитывать свойства материала и анализировать поведение изделия под нагрузкой. CAE-системы (Moldex3D, Ansys Polyflow, Abaqus) рассчитывают напряжения, термостойкость, усталость материала и другие свойства, графически отображают поведение полимерных материалов на всех этапах процесса, например, литья под давлением. Программы для 3D-печати (ChiTuBox) подготавливают цифровую модель объекта для печати, нарезают её на слои заданной толщины. Научные пакеты (Multicomp) позволяют анализировать широкий спектр свойств: морфологию, структурные, механические и теплофизические свойства, энергию когезии, вязкость полимерных композитов, а также процессы диффузии и растворимости малых молекул в полимерной матрице. Генеративный дизайн (AutodeskGenerativeDesign, Fusion360) – оптимизация формы с учётом свойств полимера. VR/AR-прототипирование – визуализация изделий из полимеров в реальной среде.

Цифровизация дизайн-процессов обеспечивает точность расчётов, предсказывая деформации и износ до физического производства, экономит время за счет сокращения числа физических прототипов, AR-приложения позволяют «примерить» полимерные изделия в интерьере клиента.

Примеры применения: BMW использует генеративный дизайн для создания лёгких полимерных элементов кузова с минимальной массой и максимальной прочностью, студия Zaha Hadid Architects применяет симуляции для проектирования фасадных панелей из композитных полимеров, приложения типа Adobe Substance 3D позволяют реалистично

визуализировать текстуру и блеск полимерных поверхностей предметов дизайна и др. [8-12]

Нанотехнологии в полимерных покрытиях. Наномодифицированные полимеры получают уникальные свойства за счёт добавления наночастиц. Нанопокрывтия на основе полимеров позволяют получать гидрофобные материалы (эффект лотоса), антибактериальные поверхности (ионы серебра), самоочищающиеся плёнки (фотокатализ на основе TiO_2), антикоррозионные, огнестойкие, антискользящие и другие функциональные покрытия.

Нанотехнологии в полимерных покрытиях применяются не только для решения практических задач, но и для создания визуальных эффектов и новых тактильных ощущений от матовых, бархатистых и «скользящих» поверхностей [13,14].

Полимерные материалы в сочетании с цифровыми технологиями формируют новый этап в эволюции дизайна. Они позволяют создавать продукты с беспрецедентной функциональностью, снижать экологическую нагрузку, персонализировать массовые изделия, объединять физическое и цифровое пространство.

Для профессионалов это означает необходимость постоянного обучения и готовности к междисциплинарному сотрудничеству. Будущее дизайна – в синтезе творчества, технологий и ответственности.

Список литературы

1. Мазина Ю.И., Камзина Н.Е., Степанюгина А.И. Факторы использования современных синтетических материалов для создания объектов дизайна // Вестник инновационного евразийского университета. 2023. №1 (89). С.144-153.
2. Новые направления в пластиковой индустрии [Электронный ресурс] // Poliplastrnd. URL: <https://poliplastrnd.ru/articles/novye-napravleniya-v-plastikovojoj-industrii/> (дата обращения 15.12.25)
3. Аддитивные технологии: техника исполнения и материалы // Управление качеством. 2017. № 10. С. 66-68. [Электронный ресурс] // panor.ru. URL: <https://panor.ru/articles/additivnye-tekhnologii-tekhnika-ispolneniya-i-materialy/62948.html#> (дата обращения 15.12.25).
4. Стручалин И.С. 3D-печать и её влияние на создание декоративных объектов // Сборник научных статей «Актуальность гуманитарных наук в современных реалиях: традиции и современность», Москва: ООО «ПЕРО», 2025. С.37-40.
5. Yiling Yu, Fenghua Zhang, Yanju Liu, Jinsong Leng. Smart Polymer Fibers: Promising Advances in Microstructures, Stimuli-Responsive Properties and Applications // Advanced Fiber Materials. 2025. V.7, PP.1010–10413. Material expertise at your fingertips [Электронный ресурс] // Material-minded Design | Material Connexion. URL: <https://www.materialconnexion.com/> (дата обращения 07.11.25).

6. Мырадова А. Умные полимеры: новое поколение материалов // Символ науки: международный научный журнал. 2024. Т. 1. № 11-1. С. 80-81.

7. Хрисониди В.А., Кириленко В.А., Хоружий К.И., Шатохина Е.М. Биополимеры, их свойства и классификация. Синтез биополимеров и их композитов // The Scientific Heritage. 2022. № 85-1 (85). С. 16-20.

8. Денискина Г.Ю. CAD/CAM/CAE-система для изготовления конструкций из волокнистых композиционных материалов методом 3D-печати // Труды МАИ. 2022. № 126. С. 21.

9. Galkin D.V., Weng W. The Role Of Generative Artificial Intelligence In Modern Design: Theoretical Considerations // Tomsk State University Journal of Cultural Studies and Art History. 2025. No. 57. Pp. 25-39.

10. Лебедев А.А., Кошкин А.К. Практика и перспективы применения технологий генеративного дизайна в архитектуре и строительстве // Студенческий. 2024. № 39-1 (293). С. 28-32.

11. Добрякова Ю.А. К вопросу об использовании генеративного искусственного интеллекта в архитектуре и дизайне // Молодой ученый. 2025. № 10 (561). С. 27-29.

12. Крутов А.А., Бычков Е.А., Воеводина Е.И. Цифровое инверсное проектирование полимеров для 3D-печати: возможности и проблемы применения // Экономика и управление: проблемы, решения. 2025. Т. 16. №1 (154). С. 168-175.

13. Марченко С.А., Железняк В.Г., Кузнецова В.А. Применение и модификация частиц для создания супергидрофобных покрытий // Труды ВИАМ. 2023. № 5 (123). С. 94-110.

14. Сергин Н.А., Хайбуллова К.М., Закирова Л.Ю., Шишкина Н.Н., Самуилов Я.Д. Перспективные полимерные материалы: самовосстанавливающиеся полимеры (обзор) // Вестник Технологического университета. 2024. Т. 27. № 7. С. 50-56.

© Каримова, Э.Р., Лимаренко О.В., 2026

УДК 553.541:665.6

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА СЛАНЦЕВ

Лумбунов Е.Э., Орехов А.С., Родосский К.К., Антонюк С.Н., Бейлина Н.Ю.

*Институт тонких химических технологий имени М. В. Ломоносова,
«МИРЭА – Российский технологический университет» Москва, Россия*

Российская Федерация обладает значительными запасами горючих сланцев, которые представляют собой неосвоенный, но перспективный ресурс. Являясь альтернативным источником энергии и ценных химических соединений, горючие сланцы требуют исследований для полного раскрытия потенциала и выбора наиболее эффективного направления переработки [1].

В настоящей работе рассматривается комплексный подход к переработке образцов горючих сланцев месторождений Узбекистана и Поволжья с реализацией процессов полукоксования, окислительной активации карбонизатов с последующей деминерализацией полученных адсорбентов.

Процесс полукоксования образцов сланцев проводили в реакторе из нержавеющей стали при атмосферном давлении в инертной среде с конечной температурой коксования 450 °С. Полученные полукоксы подвергали окислительной активации в атмосфере CO₂ во вращающемся трубчатом кварцевом реакторе при температуре 850 – 900 °С в течение часа.

Показано, что при полукоксовании при температуре 450 °С образца сланца Волжского бассейна при выходе полукокса 71,6% последующая активация карбонизата с обгаром 21% приводит к повышению удельной поверхности с 21 до 186 м²/г, а после деминерализации раствором соляной кислоты увеличивается до 237 м²/г. Аналогичные результаты получены при переработке образца сланца узбекского месторождения. С целью предварительной механохимической активации сланцев образцы обрабатывали в аппарате с вихревым слоем (АВС) ферромагнитных элементов [2]. При этом выход полукокса составил 67,6%. Проведение окислительной активации и деминерализации приводит, соответственно, к увеличению удельной поверхности с 22 до 190 м²/г и 201 м²/г. Таким образом показана возможность получения из сланцев адсорбентов с высокой удельной поверхностью.

Список литературы

1. Лапидус А.Л., Бейлина Н.Ю., Худяков Д.С., Жагфаров Ф.Г., Илясов В.Н. Комплексная переработка горючих сланцев Волжского бассейна – Химия твердого топлива, 2018. №2. – 1-8 с.
 2. Логвиненко Д.Д., Шеляков О.П. Интенсификация технологических процессов в аппаратах с вихревым слоем – Изд. «Техника», 1976, 144 с.
- © Лумбунов Е.Э., Орехов А.С., Родосский К.К.,
Антонюк С.Н., Бейлина Н.Ю., 2026

УДК 340.155

БАРИЙ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ: СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ

Лялько Д.Н., Куксо П.А.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Барий и его соединения широко применяются в нефтехимии (очистка от сульфатов), производстве спецстекло, керамики, пигментов и в медицинской диагностике (рентгеноконтрастное средство). Цель работы –

систематизация данных о получении, свойствах и применении бария, а также разработка лабораторной методики синтеза BaCl_2 .

Основные минералы – барит (BaSO_4) и виверит (BaCO_3). Промышленное получение металлического бария осуществляют электролизом расплава BaCl_2 (750–850 °С) или алюминотермией в вакууме: $4\text{BaO} + 2\text{Al} \rightarrow 3\text{Ba}\uparrow + \text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$.

Барий – щелочноземельный металл, химически активен, легко реагирует с O_2 , H_2O и кислотами. $\text{Ba}(\text{OH})_2$ (баритовая вода) – реагент на CO_3^{2-} и SO_4^{2-} . BaSO_4 отличается крайне низкой растворимостью и химической инертностью, что обуславливает его применение в медицине. BaTiO_3 используется в электронике как сегнетоэлектрик.

Лабораторный синтез хлорида бария. Реакция: $\text{BaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{BaCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Исходные вещества: 2,02 г BaCO_3 и 20,5 мл 1 М HCl . Условия: 20–25 °С, 15–30 мин (до прекращения выделения CO_2). Продукт – $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (дигидрат). Выход составил 90 % (фактически 2,25 г при теоретической массе 2,50 г). Очистка включает фильтрацию, адсорбцию и перекристаллизацию. Контроль качества проведён гравиметрией (BaSO_4), титриметрией (галогениды), ААС и ICP-OES.

Таким образом, систематизированы данные по источникам, получению, свойствам и применению бария. Разработана лабораторная методика синтеза BaCl_2 с выходом 90 %. Показана связь «состав – свойство – применение». Предложены пути повышения эффективности и экологичности процессов (замкнутые циклы, ионообменная очистка).

© Лялько Д.Н., Куксо П.А. 2026

УДК 544.558

ОБРАЗОВАНИЕ НАНООБЪЕКТОВ В ВОДНЫХ ДИСПЕРСИЯХ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ В ВОДЕ НА ЭЛЕКТРОДНОЙ ПАРЕ Cu-Ti

Макарова С.В., Снетов В.Н., Субботин Д.И.

*Институт электрофизики и электроэнергетики Российской
академии наук, Санкт-Петербург, Россия*

Синтез и исследование нанобъектов являются актуальной задачей уже на протяжении последних 50 лет. Это связано с их уникальными свойствами благодаря размерному эффекту и их активному применению в различных областях. В медицине медные наночастицы используются для термического разрушения раковых опухолей в комплексе с лазерным излучением. В энергетике титановые наночастицы активно применяются в производстве топливных элементов.

В ходе электрического разряда происходит электроэрозия материалов электрода. При подаче высокого импульса на стержневые электроды при

постоянном потоке бидистиллированной воды образуются водные дисперсии нанообъектов.

В качестве электродов были взяты медные и титановые стержневые электроды. Гравиметрическим методом была определена потеря массы при эрозии в паре Cu(анод)-Ti(катод), которая составила для меди 102,8 мг/л и титана – 3,76 мг/л. При обратной полярности Ti(анод)-Cu(катод) потеря массы при эрозии у титана увеличивается до 18,4 мг/л, а меди уменьшается почти в 5 раз – 28,08 мг/л. При этом водные дисперсии имели нейтральную среду: Cu(анод)- Ti(катод) – 7,12, Ti(анод)- Cu(катод) – 7,04. Удельная электропроводность составила: Cu(анод)- Ti(катод) – 6,35 мкСм/см, Ti(анод)- Cu(катод) – 8,95 мкСм/см. При потенциометрическом анализе содержание ионов меди было близко к нулю. Исходя из этого можно заключить, что водная дисперсия не проявляет свойств, характерных для раствора, содержащего ионы.

При определении весового содержания на сканирующем электронном микроскопе наблюдали следующее. Для электродной системы Cu(анод)-Ti(катод) содержание меди составило 75,50%масс., титана – 2,04%масс. и кислорода – 21,22%масс. Для другой полярности Ti(анод)-Cu(катод): титана – 21,93%масс., меди – 44,08%масс. и кислорода 31,01%масс.

Для данных систем характерно, что эрозия электрода преимущественно происходит в анодной части разрядной ячейки.

© Макарова С.В., Снетов В.Н., Субботин Д.И., 2026

УДК 621.9.02:667.63

РАЗРАБОТКА ЗАЩИТНОГО ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Миндигулов И.Г., Глазырин А.Б.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Российская металлообрабатывающая отрасль нуждается в эффективных решениях для повышения производительности и обеспечения бесперебойной работы. Ключевую роль играет современный режущий инструмент, однако его эксплуатация связана с проблемами: механические повреждения, травмы персонала, коррозия. Полимерные покрытия успешно решают эти задачи, продлевая срок службы инструмента.

Ранее использовались импортные полимерные покрытия, но прекращение их поставок (например, продукта Super SH 25 от Croda International) потребовало разработки отечественного продукта на базе доступного российского сырья, который по своим свойствам соответствовал бы импортным аналогам.

Целью исследований являлась разработка термопластичного и термостойкого полимерного материала многоразового применения для защитных покрытий режущего инструмента. Основная задача: получить продукт с необходимым комплексом эксплуатационных свойств для защиты металлических изделий от повреждений и коррозии.

Разработан состав полимерной композиции для защитного покрытия металлических изделий, на основе смеси термопластичных полимеров и пластифицирующей добавки взятых в определенном соотношении. Данная композиция соответствует предъявляемым требованиям по показателям:

- адгезия к металлической поверхности;
- прочность и эластичность покрытия;
- возможность повторного использования;
- прозрачность покрытия;

Определены основные характеристики полимерной композиции: плотность ($0,96 \text{ г/см}^3$); твердость по Шору А (14-15 ед.), температура каплепадения ($118-120^\circ\text{C}$), вязкость расплава ($120-130 \text{ Па}\cdot\text{с}$).

Методом термогравиметрии установлено, что полученные композиты обладают высокой термической устойчивостью ($T_n = 176-178^\circ\text{C}$). При длительном термическом воздействии (130°C , 8 час) продукт сохраняет стабильность. При этом характеристики получаемого полимерного покрытия (прочность, эластичность, адгезия) изменяются не существенно.

Наработана опытная партия полимерного продукта, которая прошла испытания на производстве режущих инструментов в ПК «Салют» ОА ОДК (г. Москва). Разработанный продукт может быть рекомендован к практическому применению.

© Миндигулов И.Г., Глазырин А.Б., 2026

УДК 539.216.2

ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ НАПЫЛЕНИЯ ПЛЕНКИ ПОЛИИНДОЛА И ЕЕ ПРОВОДИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Минеева А.С., Муллағалиев И.Н.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Полииндол (PIn) в настоящее время является объектом активных исследований в области органической электроники благодаря своей высокой термической стабильности и хорошей электрохимической активности [1]. Для создания тонких пленок из полииндола и других органических полупроводников широко применяется метод термовакuumного напыления, позволяющий получать слои с контролируемой морфологией [2].

Ключевым методом характеристики является изучение температурной зависимости электропроводности. Измеряя проводимость при различных температурах и аппроксимируя полученные данные с

помощью уравнения Аррениуса, исследователи рассчитывают ширину запрещённой зоны и энергию активации. Эта информация необходима для оценки перспектив применения материала в оптоэлектронике [3].

На рисунке 1 видно неравномерное напыление пленки полииндола, что необходимо учитывать при создании тонкопленочных структур. Фотографии сделаны на расстоянии 5 мм друг от друга.

Чем ближе к центру напыления, частиц полииндола становится все больше, превращаясь практически в единую пленку.

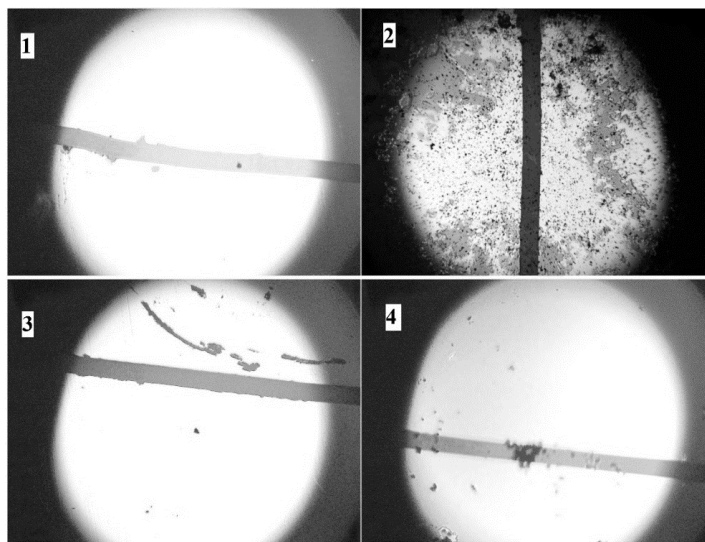


Рисунок 1. Фотография, сделанная в районе, где было: 1) наименьшее напыление полииндола; 2) чуть большее напыление полииндола; 3) среднее напыление полииндола; 4) наибольшее напыление полииндола.

При нагревании тонкой пленки полииндола от 20 до 100 °С проводимость возрастает примерно в 2,4 раза (с $2,5 \times 10^{-10}$ до $6,0 \times 10^{-10}$), что характерно для полупроводникового типа переноса заряда. Рост происходит неравномерно: наблюдаются плато при 30-40 °С и 80-90 °С, что может указывать на влияние дефектов, ловушек или структурных переходов.

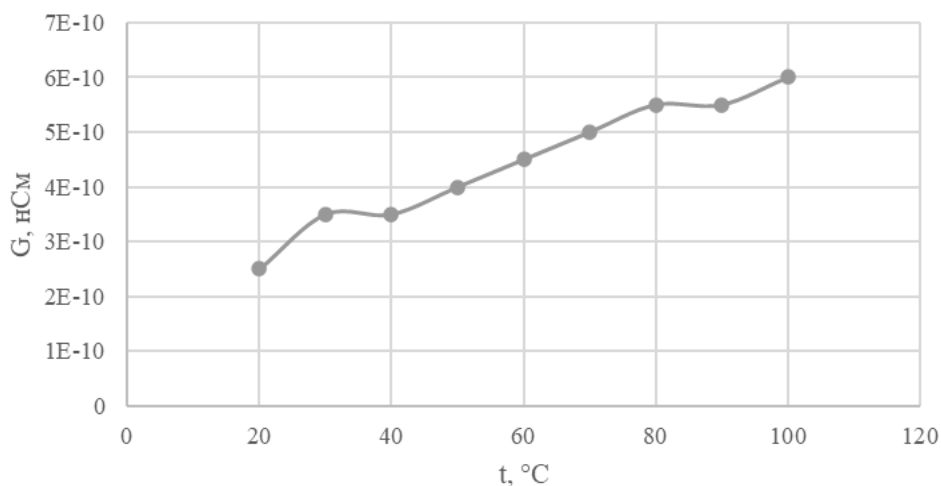


Рисунок 2. Изменение проводимости от температуры

Список литературы

1. Рагхавендра Б., Санкараппа Т., Малге А. Структура, оптическое поглощение и проводимость композитов PIn/Co₃O₄ // *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*. – 2020. – Т. 30. – №. 9. – С. 3586-3594.
2. Муллагалиев И. Н., Салихов Т. Р. Производная полииндола для фотопереключаемых резистивных устройств // *Современные технологии композиционных материалов*. – 2023. – С. 219-221.
3. Азарко В. А. и др. Термовакuumно-напыленные пленки 1Н-индол-3К-(фенил)-альдонитрона-сухопроявляемый материал для лазерной микролитографии // *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук*. – 2014. – №. 2. – С. 45-47.
4. Raghavendra B. et al. Structural, optical, electrical and electrochemical studies of transitional metal oxides doped PIn/PCz copolymer composites // *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*. – 2025. – Т. 35. – №. 6. – С. 4300-4314.

© Минеева А.С., Муллагалиев И.Н., 2026

УДК 547.98 : 547.458.8 : 547.458.61

ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИИ ВОДОРАСТВОРИМЫХ БЕЛКОВ НИЗКОЗАМЕЩЕННЫМИ ФОСФАТАМИ ПОЛИСАХАРИДОВ

Мирзаахмедов С.Ф.¹, Ямансарова Э.Т.¹, Зворыгина О.Б.²

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Уфа, Россия*

Современные кровоостанавливающие средства, используемые как средство первой помощи при поверхностных кровотечениях, характеризуются большим разнообразием применяемых материалов и способов. Основой многих из них являются природные полисахариды как растительного, так и животного происхождения. Широко применяемые ранее тампоны и повязки из хлопковых тканей и волокон в настоящее время все чаще заменяются повязками и присыпками, отличающимися гораздо более сильными впитывающими свойствами, обладающими антибактериальными и повышенными репаративными свойствами. К важным преимуществам следует отнести биосовместимость и биodeградируемость таких материалов.

Например, материалы на основе монокарбоксицеллюлозы, относящейся к полианионным материалам характеризуются высокой

асорбирующей способностью по отношению к растворимым белкам плазмы крови, увеличенной скоростью гемостаза и регенерации раны.

В этой связи хорошей перспективой могут обладать эфиры целлюлозы, содержащие фосфорнокислые группы, поскольку являются материалами с повышенной биосовместимостью. Они нетоксичные, биоразлагаемые.

В ходе исследования необходимо было выявить влияние способа получения на сорбционные свойства фосфатов целлюлозы по отношению к яичному альбумину, как модельному соединению, и дать сравнительную характеристику целлюлозным материалам – фосфатам.

Синтез осуществляли по ранее разработанной методике [1]. В результате были получены фосфаты целлюлозы со степенью замещения 0.60-0.65 и содержанием фосфора 0.061 – 0.084 ммоль/г

Изучали адсорбцию белка на примере яичного альбумина в качестве модельного соединения в интервале концентраций белка 1-10 мг/мл фотоколориметрически по биуретовой реакции при $\lambda_{\max}=540$ нм. Экспериментальную изотерму адсорбции получили, изменяя концентрацию белка в растворе. Адсорбцию рассчитывали по формуле:

$$A = \frac{(C_0 - C_p) * V}{m}$$

где A – величина адсорбции, мг/г; C_0 – начальная концентрация адсорбата, мг/мл; C_p – равновесная концентрация адсорбата; m – масса сорбента, г, и строили график в координатах – «A-C».

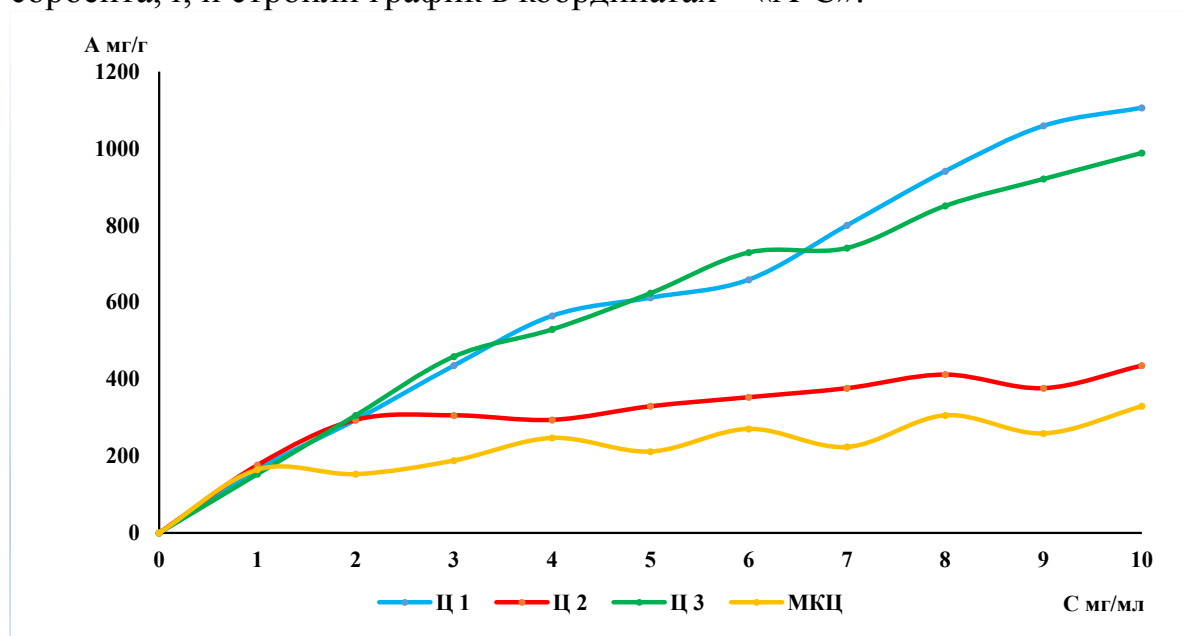


Рисунок 1. Экспериментальная изотерма адсорбции белка фосфатами целлюлозы, полученными в разных условиях (Ц1, $C_p = 0.075\%$; Ц2, $C_p = 0.053\%$; Ц3, $C_p = 0.095\%$).

Взаимодействие белков с ионообменными материалами, каковыми являются фосфаты полисахаридов, сильно зависит от pH среды. Альбумины имеют изоэлектрическую точку близкую к 4.7 – 4.9. Растворы

фосфатов целлюлозы в H^+ - форме имеют pK 2-0, а в Na^+ -форме pK 8-11, следовательно, можно констатировать что взаимодействие между альбумином и Н-формой и Na-формой катионита возможно.

Сорбционные свойства эфиров целлюлозы по отношению к альбумину сравнивали с характеристиками эфиров крахмала, полученных по аналогичным методикам.

Формы кривых адсорбции фосфатов целлюлозы имеют разную форму. Если для фосфата с содержанием фосфора 0.132 мг/мл (образец 1) характерна Ленгмюровская форма кривой, то увеличение содержания в реакционной массе карбамида и дигидрофосфата дает в последствии экстремальный характер изотерм, причем наибольший предел адсорбции белка наблюдается при использовании соотношения 1:2:4 – Целлюлоза : NaH_2PO_4 : Карбамид. При этом образец поглощает до 50 мг/г белка до его исходного содержания в растворе не превышающего 8 мг/мл.

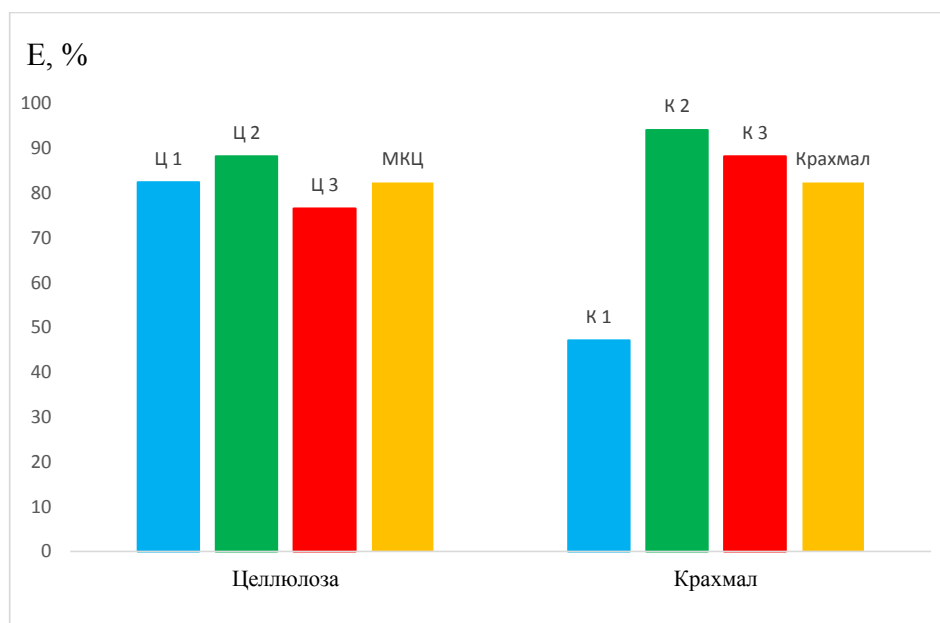


Рисунок 2 – Эффективность адсорбции белка от содержания фосфора в эфирах целлюлозы (исходная концентрация белка 1 мг/мл), с содержанием фосфора (Ц1, $C_p = 0.075\%$; Ц2, $C_p = 0.053\%$; Ц3, $C_p = 0.095\%$).

Для определения механизма адсорбции белка фосфатами целлюлозы были использованы уравнение Генри, линейаризованные формы уравнений Ленгмюра, Фрейдлиха (таблица 1).

Экспериментальная изотерма подчиняется закону Генри. Исходя из уравнения была рассчитана константы Генри, которую в дальнейшем использовали для расчета стандартной энергии Гиббса.

Уравнение изотермы Генри

$$\Gamma = K_H * C$$

где Γ - величина адсорбции (моль/г), C – равновесная концентрация (моль/л), и K_H – константа Генри (л/г).

Линеаризация уравнения Ленгмюра позволяет рассчитать предельную адсорбцию, энергию Гиббса адсорбции.

Уравнение изотермы Ленгмюра

$$\frac{1}{\Gamma} = \frac{1}{\Gamma_{\max}} + \frac{1}{K_L * \Gamma_{\max}} * \frac{C}{C_{\text{ост}}}$$

где Γ - величина адсорбции (моль/г), $\Gamma_{\max}$ – максимальная величина адсорбции (моль/л), C – равновесная концентрация (моль/л), C_0 – стандартная концентрация равная 1 (моль/л), и K_L – константа Ленгмюра.

Уравнение изотермы Фрейндлиха также можно привести к линейному виду:

$$\ln \Gamma = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C$$

где Γ - величина адсорбции (моль/г), C – равновесная концентрация (моль/л), и K_F – константа Фрейндлиха.

Установлено, что экспериментальные изотермы близки к прямой, отражающей начальный участок, подчиняющийся закону Генри. Предел адсорбции в этом интервале концентраций не достигается. Расчетный значения энергии Гиббса имеют отрицательное значение только для уравнения Генри.

Таблица 1. Параметры уравнений Генри для кривых адсорбции белка фосфатами целлюлозы

Р, %		0.075	0.053	0.095
СЗ		0.060	0.065	0.065
Параметры адсорбции				
По Генри	K_H , л/г	117	53	110
	$-\Delta G$, кДж/моль	11.6	9.6	11.4
	R^2	0.97	0.31	0.92
По Ленгмюру	$\Gamma_{\max}$	2500	454	2500
	K_L	0.07	0.64	0.065
	ΔG , кДж/моль	6.4	1.0	6.6
	R^2	0.99	0.93	0.99
По Фрейндлиху	$1/n$	0.82	0.33	0.78
	K_F	365	181	164
	$-\Delta G$, кДж/моль	14.3	12.6	12.4
	R^2	0.99	0.89	0.98

Таким образом было показано, что адсорбция белка низкозамещенными фосфатами целлюлозы и крахмала подчиняется закону Генри и не достигает предела в области концентраций 1-10 мг/мл. При изучении способности фосфатов целлюлозы и крахмала к поглощению альбумина из раствора установлено, что эфиры целлюлозы с содержанием фосфора 0.06 – 0.10 % поглощают до 50 – 60 % белка, в интервале концентраций 1-10 мг/мл адсорбция не достигает предела, протекает в

основном за счет физического взаимодействия и носит самопроизвольный характер.

Список литературы

1. С.Ф. Мирзаахмедов, Э.Т. Ямансарова, О.Б. Зворыгина. Кислотные свойства низкозамещенных фосфатов целлюлозы // Интеграция науки и высшего образования в области био- и органической химии и биотехнологии: материалы XIX Всероссийской научной интернет-конференции / редкол.: И.Г. Ибрагимов и др. – Уфа: УНПЦ «Изд-во УГНТУ», 2025. – С. 19

© Мирзаахмедов С.Ф., Ямансарова Э.Т., Зворыгина О.Б., 2026

УДК 553.541:665.6

ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ АДсорбЕНТОВ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВАЦИЕЙ КОКСА

Михайлова П.Д., Антонюк С.Н., Филимонов А.С., Бейлина Н.Ю.

*Институт тонких химических технологий имени М. В. Ломоносова,
«МИРЭА – Российский технологический университет» Москва, Россия*

В современном мире возрастает спрос на эффективные сорбционные материалы, обладающие хорошими показателями поглощения токсичных веществ и газов. Углеродсодержащие адсорбенты часто применяются в химической промышленности, экологии, медицине и многих других областях благодаря своей способности избирательно захватывать молекулы различного размера и природы [1]. В работе изучен способ получения адсорбентов путем окислительной активации углеродсодержащего сырья на основе каменноугольного кокса методом окисления смесью газов различного состава - CO_2 , O_2 (воздух), H_2O .

В качестве исходного сырья для активации использовали каменноугольный кокс фракции 1-2 мм. Ряд образцов кокса подвергали предварительной механохимической активацией в аппарате вихревого слоя (АВС) [2]. Эксперименты проводили на лабораторной установке для окислительной активации с вращающимся реактором при температуре 900°C в течение трёх часов.

Показано, что предварительная активация кокса в АВС приводит к увеличению удельной поверхности с 0,9 до $5,7 \text{ м}^2/\text{г}$, а после окисления в CO_2 удельная поверхность достигла $150,9 \text{ м}^2/\text{г}$, при этом адсорбционная активность по метиловому оранжевому (МО) увеличилась от 10,8 до $61,1 \text{ мг}/\text{г}$, а при окислении смесью $\text{CO}_2 + 5\% \text{ об. O}_2$ удельная поверхность и адсорбционная активность увеличиваются, соответственно, с $5,7$ до $62,3 \text{ м}^2/\text{г}$ и с 46,7 до $50,9 \text{ мг}/\text{г}$. Исследование окислительной активации кокса водяным паром приводит к росту удельной поверхности 0,9 до $108,7 \text{ м}^2/\text{г}$, а при активации с паровоздушным дутьем ($\text{H}_2\text{O} + 5\% \text{ O}_2$) удельная

поверхность возрастает до 121,8 м²/г при увеличении адсорбционной активности с 10,7 до 56,2 мг/г.

Таким образом, показана возможность получения из каменноугольного кокса с применением предварительной активацией в АВС с последующей окислительной активацией адсорбентов с высокой удельной поверхностью и адсорбционной активностью по метиловому оранжевому.

Список литературы

1. Русьянова Н.Д. Углекислотная активация. М.: Наука, 2003, 316 с.
2. Логвиненко Д.Д., Шеляков О.П. Интенсификация технологических процессов в аппаратах с вихревым слоем – Изд. «Техника», 1976, 144 с.

© Михайлова П.Д., Антонюк С.Н., Филимонов А.С.,
Бейлина Н.Ю., 2026

УДК 544.774, 543.424.2

АНАЛИЗ СПЕКТРА КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ПРОИЗВОДНОЙ ПОИАНИЛИНА

Мичник В.С., Муллагалиев И.Н.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Особый интерес представляют тонкопленочные структуры на основе полианилина и его растворимых производных [1]. Активно исследуются спектры комбинационного рассеяния производных полианилинов [2].

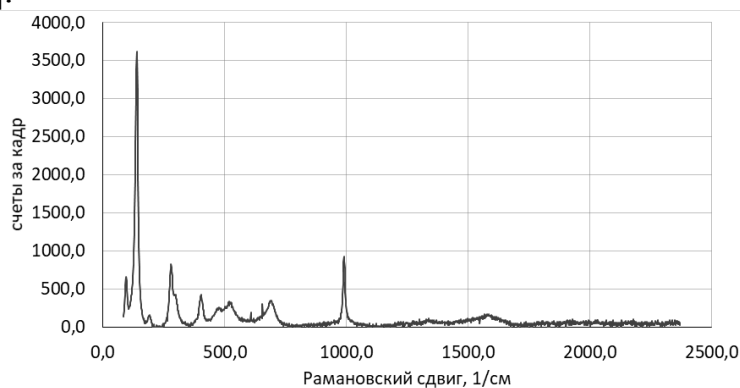


Рисунок 1. КР спектр производной полианилина

Методом спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) с длиной волны возбуждения 532 нм исследован порошок производной полианилина. Полученный спектр (рис.1) кардинально отличается от спектра классического полианилина: вместо характерных отдельных полос бензoidных (1620 см⁻¹) и хиноидных (1590 см⁻¹) колец наблюдается единый асимметричный пик при 1603 см⁻¹, что является прямым спектральным свидетельством N-замещения (наличие метильной или аналогичной группы у атома азота). Доминирующая в спектре

высокоинтенсивная полоса при 1360 см^{-1} идентифицирована как валентные колебания связи $\text{C}-\text{N}^+$ в делокализованных поляронных структурах, что указывает на полуокисленное (эмеральдиноподобное) состояние полимера. Умеренная интенсивность полосы в области 1483 см^{-1} ($\text{C}=\text{N}$) в сочетании с исключительно высоким сигналом поляронов при 532 нм позволяет заключить, что для данной производной зелёное излучение находится в резонансе преимущественно с поляронными, а не биполяронными состояниями, в отличие от классического полианилина.

Список литературы

1. Салихов Р. Б. и др. Исследование фотопроводимости тонких пленок на основе производных полианилина // Вестник Башкирского университета. – 2025. – Т. 30. – №. 1. – С. 13-18.
2. Mažeikienė R., Niaura G., Malinauskas A. Multiwavelength Raman spectroelectrochemical study of poly (N-methylaniline): An overview // Chemija. – 2023. – Т. 34. – №. 1. – Р. 8–18

© Мичник В.С., Муллағалиев И.Н., 2026

УДК 544.478

ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ВАНАДИЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

Мусихин Н.А., Мурзагулова Э.И.

Уфимский Университет науки и технологий, Уфа, Россия

Большинство промышленных процессов органического синтеза протекает в присутствии катализаторов, таких как благородные металлы (Pt, Rh, Ru). Однако они обладают высокой стоимостью, ограниченностью ресурсов и токсичностью. Экономически и экологически обоснованной альтернативой благородным металлам является ванадий благодаря распространённости, низкой стоимости. Ванадий способен проявлять степени окисления от +2 до +5, работать совместно с такими окислителями как O_2 и H_2O_2 , а также образовывать комплексные соединения и оксидные формы [1]. Среди наиболее перспективных направлений применения ванадия выделяют следующие: нефтехимия, полимеризация олефинов, органический синтез. В связи с расширением областей применения ванадия возникает необходимость оптимизации существующих и создания новых катализаторов на его основе.

В настоящий момент предложено два перспективных метода по улучшению и синтезу ванадиевых катализаторов.

С помощью машинного обучения на базе из 273 реакций эпоксидирования с участием пяти ванадиевых структур ($\text{VO}(\text{SO}_4)$, $\text{VO}(\text{salen})$, $\text{VO}(\text{OiPr})_3$, $\text{VO}(\text{acac})_2$, $\text{VCl}_2(\text{salen})$) были выявлены «горячие точки» — участки лигандов, критичные для повышения эффективности и селективности катализатора в реакции эпоксидирования малых алкенов и

аллиловых спиртов (ESA) [2]. Это позволяет целенаправленно модифицировать ванадиевые катализаторы.

Синтез ванадиевого катализатора на основе мезопористого CeO_2 с нанесением 3-10% V_2O_5 показал, что оптимальное содержание (6% V_2O_5) приводит к образованию активной фазы CeVO_4 , высокой удельной поверхности, максимальной конверсии (69%) и селективности (88%) при аэробном окислении этилбензола без растворителя [3].

Список литературы

1. Колосов Н.А: Координационные соединения ванадия с лигандами как катализаторы реакции полимеризации и олигомеризации α -олефинов. Москва 2017. – 124 с.

2. Жозе Ферраз-Каэтану, Филипе Тейшейра, М. Наталия Д.С. Кордейру: Преодоление сложностей связанных с эпоксидированием: создание набора инструментов для анализа данных при разработке ванадиевых катализаторов. Португалия 2024. – с. 5097-5100.

3. Силлигандла Назир, Палли Ситарамулу: Мезопористый ванадий, поддерживаемые церией, для селективного аэробного окисления этилбензола. Нью-Дели 2024. – с. 10391-10400.

© Мусихин Н.А., Мурзагулова Э.И., 2026

УДК 541.64+541.68+547.467

СИНТЕЗ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ ХИТОЗАНА С 5-НОРБОРНЕН-2,3-ДИКАРБОНОВОЙ КИСЛОТОЙ

Муфтахов В.В.¹, Мухамедзянова А.А.¹, Мулюкова С.М.²,
Королев И.Н.², Мингалеев В.З.²

¹Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

²Уфимский институт химии УФИЦ РАН, Уфа, Россия.

Гидрогели на основе природных полимеров представляют значительный интерес для биомедицинских применений благодаря их высокой биосовместимости, биоразлагаемости и способности удерживать большое количество воды. Особое место среди биополимеров занимает хитозан, являющийся продуктом деацетилирования хитина. Наличие аминогрупп в структуре хитозана позволяет проводить разнообразные химические модификации и получать материалы с регулируемыми физико-химическими свойствами.

В последние годы активно исследуются гидрогели хитозана для систем контролируемой доставки лекарственных препаратов, тканевой инженерии и регенеративной медицины. Одним из перспективных направлений является использование дикарбоновых кислот в качестве сшивающих агентов. В данной работе исследована возможность получения гидрогелей хитозана с использованием 5-норборнен-2,3-дикарбоновой кислоты.

Целью работы являлся синтез гидрогелей хитозана, сшитых 5-норборнен-2,3-дикарбоновой кислотой, а также исследование их структуры, морфологии и реологических свойств.

На первом этапе проведена характеристика исходного хитозана. Степень деацетилирования определяли методом кондуктометрического титрования и методом протонной ЯМР-спектроскопии. Установлено, что степень деацетилирования составляет 96,6 %, что свидетельствует о высоком содержании свободных аминогрупп и высокой реакционной способности полимера.

Средневязкостную молекулярную массу определяли вискозиметрическим методом с использованием ацетатных буферных растворов. Полученные значения составили около 330 кДа, что соответствует характеристикам высокомолекулярного хитозана.

Для получения гидрогелей использовали взаимодействие хитозана с 5-норборнен-2,3-дикарбоновой кислотой. Были синтезированы два типа гидрогелей:

- ионные гидрогели (I-ChN), образующиеся за счет электростатических взаимодействий между протонированными аминогруппами хитозана и карбоксильными группами кислоты;
- ковалентные гидрогели (C-ChN-k), полученные в присутствии активирующих агентов EDC и NHS, обеспечивающих образование амидных связей.

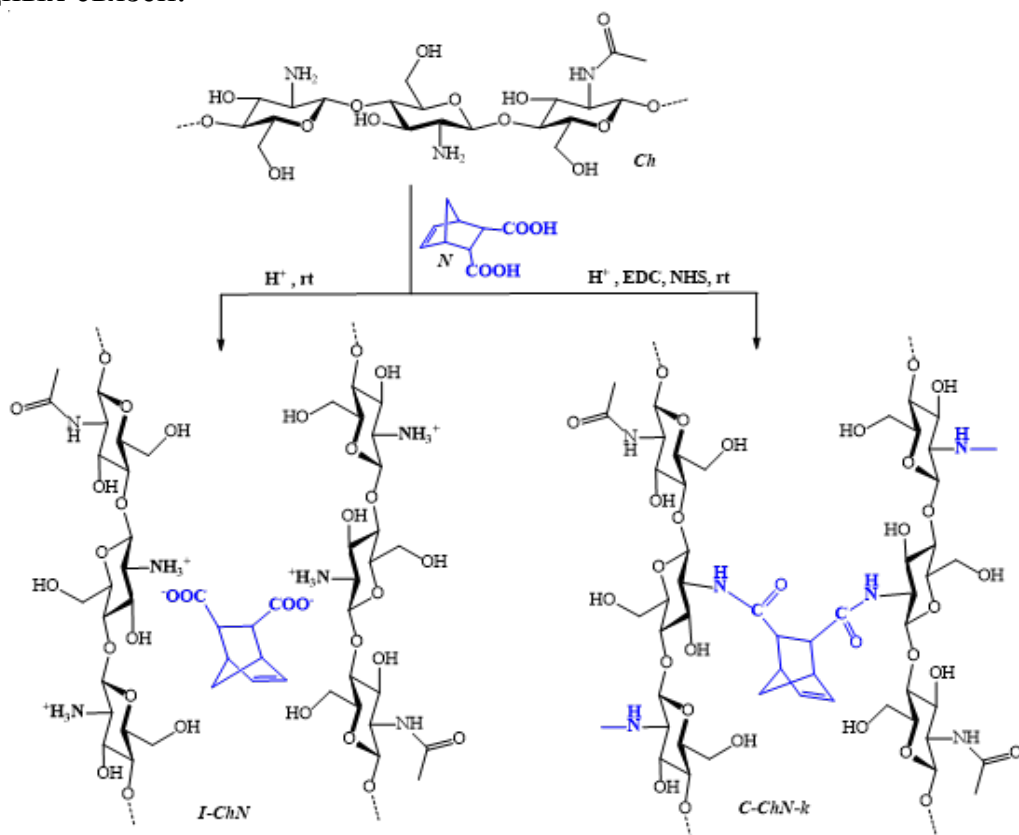


Рис.1. Синтез ионного и ковалентного гидрогелей хитозана с 5-норборнен-2,3- дикарбоновой кислотой.

Для подтверждения химического строения полученных материалов использовали метод ИК-Фурье спектроскопии. В спектрах всех гидрогелей наблюдались полосы поглощения, характерные для хитозана. Основные различия были обнаружены в области $1500\text{--}1800\text{ см}^{-1}$.

Для ионных гидрогелей наблюдались полосы поглощения при 1635 и 1557 см^{-1} , соответствующие группам COO^- и NH_3^+ , что свидетельствует об образовании электростатических взаимодействий между компонентами системы.

В спектрах ковалентных гидрогелей были зарегистрированы полосы амидных групп: амид I при 1695 см^{-1} , амид II при 1570 см^{-1} и амид III при 1653 см^{-1} . Полученные данные подтверждают образование ковалентных амидных связей между хитозаном и норборненой кислотой (рис.2.).

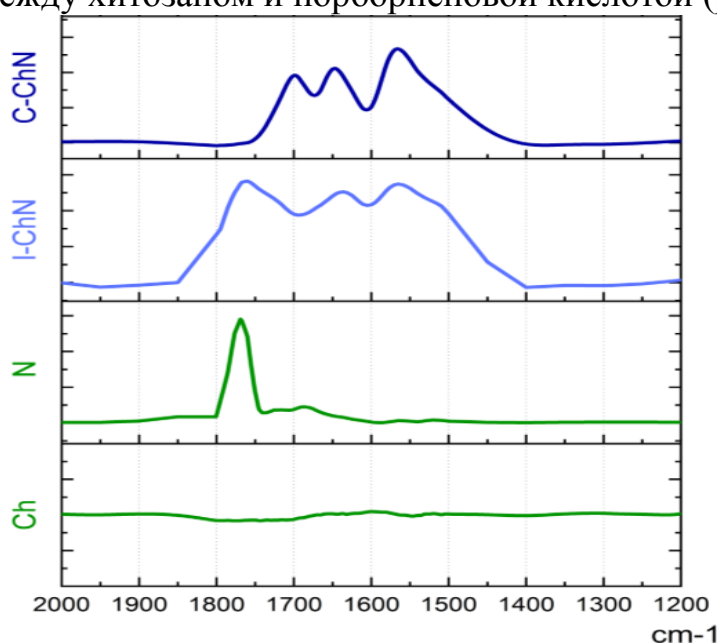


Рис.2. ИК-Фурье спектры хитозана, 5-норборнен-2,3-дикарбоновой кислоты и полученных гидрогелей.

Морфологию гидрогелей исследовали методом сканирующей электронной микроскопии. Установлено, что все образцы обладают развитой пористой структурой. Однако строение пор существенно зависит от типа сшивки.

Ионные гидрогели характеризуются менее однородной структурой и относительно тонкими стенками пор. Ковалентные гидрогели имеют более крупные и равномерно распределённые поры, а также более толстые стенки, что связано с формированием более прочной пространственной сетки (рис.3.).

Реологические свойства гидрогелей исследовали методом частотной развертки. Для всех образцов значения модуля упругости G' превышали значения модуля потерь G'' во всём диапазоне частот, что свидетельствует о преобладании упругого поведения над вязким и подтверждает формирование пространственной сетчатой структуры.

Наиболее существенные различия наблюдались между ионными и ковалентными гидрогелями. Для ионных гидрогелей значения G' не превышали 1000 Па. В случае ковалентных гидрогелей модуль упругости достигал 55000 Па, что свидетельствует о значительно большей жёсткости материала (рис.4.).

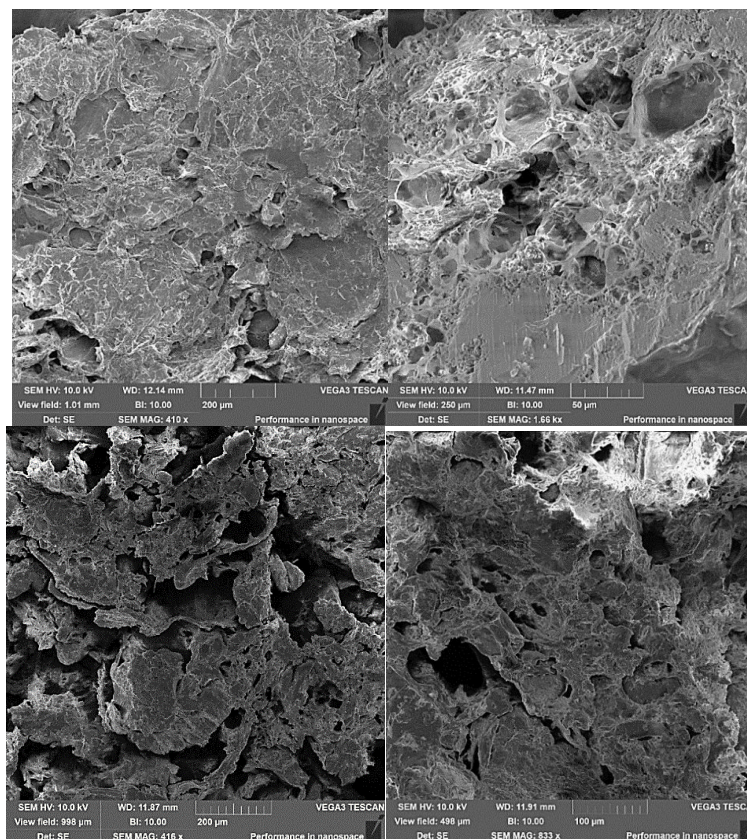


Рисунок 3. СЭМ-изображения сухих гидрогелей хитозана. а) I-2ChN, б) CI-2ChN-rt,

Полученные результаты показывают, что изменение типа сшивки позволяет эффективно регулировать механические характеристики гидрогелей. Это особенно важно для разработки материалов, предназначенных для контролируемой доставки лекарственных веществ.

Таким образом, на основе хитозана и 5-норборнен-2,3-дикарбоновой кислоты получены ионные и ковалентные гидрогели с различными структурными и механическими характеристиками. Методами ИК-Фурье спектроскопии подтверждено образование соответствующих типов сшивки. Реологические испытания показали существенное увеличение модуля упругости при переходе от ионной к ковалентной структуре. СЭМ-анализ выявил наличие развитой пористой морфологии, благоприятной для биомедицинских применений. Полученные гидрогели являются перспективными материалами для создания систем контролируемой доставки лекарственных препаратов.

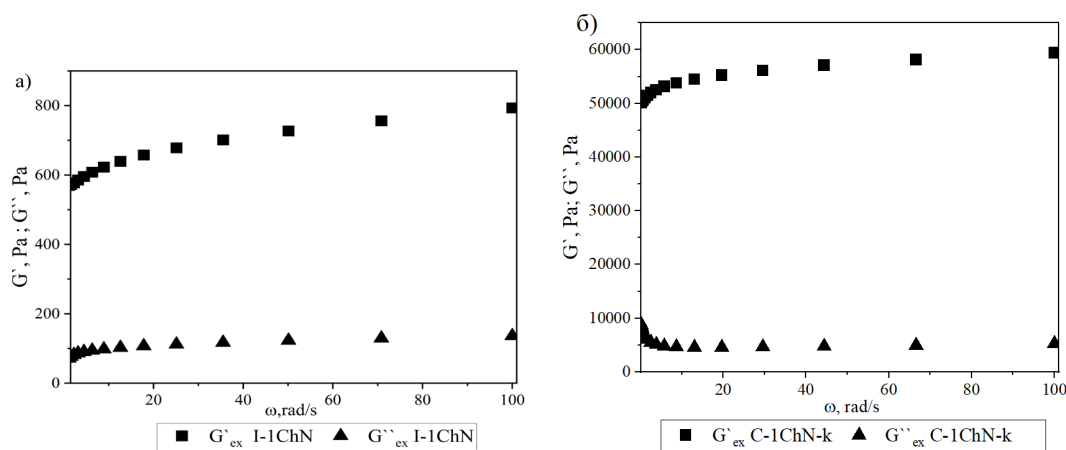


Рисунок 4. Результаты реологических испытаний с частотной разверткой. Маркеры (G' – модуль упругости, G'' – модуль потерь) – экспериментальные значения.

Список литературы

1. Sharma S., Bhende M., Goel A. A review: polysaccharide-based hydrogels and their biomedical applications // Polymer Bulletin. 2024. Vol. 81. P. 8573–8594.
2. Patel D.K., Jung E., Priya S., Won S.-Y., Han S.S. Recent advances in biopolymer-based hydrogels and their potential biomedical applications // Carbohydrate Polymers. 2024. Vol. 323. Article 121408.

© Муфтахов В.В., Мухамедзянова А.А., Мулюкова С.М.,
Королев И.Н., Мингалеев В.З., 2026

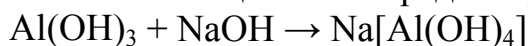
УДК 669.71

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАВНОВЕСИЙ В СИСТЕМЕ $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] - \text{H}_2\text{O}$ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ПРЯМОМУ СИНТЕЗУ НЕСТАБИЛЬНОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ

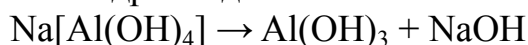
Нагимов Р.И., Каримова Э.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Тетрагидроксоалюминат натрия является ключевым промежуточным соединением в процессе Байера – основном промышленном способе получения глинозёма из бокситов [1]. Соединение образуется при растворении гидроксида алюминия в щелочной среде по реакции:



Несмотря на важную роль данного комплекса в гидрометаллургических процессах, его индивидуальное кристаллическое состояние остаётся труднодостижимым. При изменении температуры, концентрации щелочи или содержания воды алюминатные комплексы разлагаются с образованием гидроксида алюминия:



Повышение концентрации щелочи стабилизирует ионы $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ в растворе, однако при чрезмерном защелачивании возникают побочные фазы. Снижение температуры или увеличение содержания воды, напротив, провоцирует разложение комплексов [2].

Термодинамическое моделирование равновесия в системе $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]-\text{H}_2\text{O}$ перед прямым синтезом позволяет предсказывать поведение алюминатных растворов в процессах выщелачивания и декомпозиции, рассчитывать оптимальные технологические режимы (температуру, концентрацию NaOH) и обходить проблему нестабильности соединения, не требуя его выделения в твёрдой фазе [3]. Результаты термодинамического анализа подтверждаются данными спектроскопических методов, которые изучают строение алюминат-ионов непосредственно в растворе. [4].

Таким образом, термодинамический анализ равновесий в системе $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]-\text{H}_2\text{O}$ является научно обоснованной и практически значимой альтернативой, позволяющей изучать свойства алюминатных комплексов без необходимости их выделения. Предложенный подход имеет прямое прикладное значение для оптимизации процесса Байера и разработки новых технологий переработки алюминийсодержащего сырья.

Список литературы

1. Процесс Байера // Википедия (электронный ресурс), URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Процесс_Байера (дата обращения 17.05.2026)
2. Peng, H., Vaughan, J., Wang, S., Vogrin, J., Seneviratne, D. Chemical Thermodynamics and Reaction Kinetics of Bayer Process Desilication. // Light Metals 2024. TMS 2024. The Minerals, Metals & Materials Series. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50308-5_1
3. Magalhães M.C.F., Königsberger E., May P.M., Heftner G. Heat capacities of concentrated aqueous solutions of sodium sulfate, sodium carbonate, and sodium hydroxide at 25 C // Journal of Chemical & Engineering Data, 2002, 47 (3), 590-598.
4. Ротманов К.В., Смирнов М.Н. Физико-химические свойства алюминатных растворов // Вестник Московского университета, 2021, Серия 2. Химия, Т.62, №3. С.179-190.

© Нагимов Р.И., Каримова Э.Р., 2026

УДК 620.22-022.532

НАНОРЕВОЛЮЦИЯ В МИРЕ КЕРАМИКИ: КАК НЕОРГАНИЧЕСКИЕ СВЯЗУЮЩИЕ МЕНЯЮТ ПРАВИЛА ИГРЫ

Насхутдинов И.И., Фаздалова И.Р., Ахметшина А.С., Ахметшин Б.С.
Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Керамические композиционные материалы сегодня прочно вошли в самые разные сферы нашей жизни и промышленности, от авиастроения до

повседневной электротехники. Согласитесь, мы привыкли воспринимать керамику как нечто твердое, термостойкое, но при этом невероятно капризное в производстве. Традиционные методы создания таких материалов до сих пор опираются на процессы, которые можно назвать энергетически расточительными. Необходимость спекать тугоплавкие оксиды и нитриды при температурах, приближающихся к 1700 °С, требует колоссальных затрат электричества или газа, быстро выводя из строя дорогостоящее футеровочное оборудование печей [1]. Однако современная наука предлагает элегантный выход из этого замкнутого круга, и кроется он в переходе на принципиально новый уровень управления структурой материала — уровень наноразмерных процессов [2].

Давайте начистоту: главная боль любого технолога, работающего с керамикой, — это поиск баланса между текучестью формовочной массы и ее последующей усадкой при сушке. Обычная керамическая суспензия или шихта содержит от 20 до 30 процентов воды, просто чтобы масса могла худо-бедно заполнить форму. Огромное количество воды затем приходится выпаривать, что ведет к риску образования микротрещин, короблению изделий и затягиванию цикла производства [3]. Тут-то и кроется главная фишка разработанной технологии эффективных многофункциональных композитов. Ученые предложили вводить в порошковую шихту всего 2–4 процента специальных нанодисперсных неорганических связующих. Казалось бы, мизерная добавка, но она работает как настоящий нанокатализатор физико-химических процессов, полностью переворачивая привычные представления о реологии керамических масс [4].

Секрет этого прорыва кроется в чистой физике поверхности. Частицы нанодисперсного связующего имеют размер менее 200 нанометров, а их удельная поверхность превышает 100 м²/г. Когда такой порошок попадает в общую смесь, он создает беспрецедентно высокую плотность активных поверхностных связей между зернами основного наполнителя [2]. Благодаря этому колоссальному поверхностному натяжению и когезионным взаимодействиям, формовочная масса обретает идеальную подвижность и текучесть даже при влажности всего 4–5 процентов! Это настоящая революция: мы получаем материал, который легко заполняет сложнейшие полости, но при этом в нем практически нет лишней воды, которую пришлось бы долго и мучительно испарять [1].

Нельзя не затронуть и колоссальную экономию энергоресурсов, которая возникает при таком подходе. В традиционной керамике для запуска процессов массового спекания и формирования прочного каркаса из тугоплавких соединений приходится разогревать печь до 1700 °С [3]. Нанодисперсные связующие радикально снижают энергетический порог входа. Активное спекание и образование прочной наноструктуры в композите начинается уже в диапазоне от 700 до 1400 °С. Более того, здесь срабатывает красивый технологический трюк: заготовку подвергают лишь щадящей низкотемпературной обработке для первоначального

отверждения, а свои окончательные, максимально прочные эксплуатационные характеристики материал «добирает» уже непосредственно в процессе службы, когда изделие постепенно выходит на рабочие высокие температуры [1].

Все эти физико-химические нюансы открывают просто фантастические возможности для создания изделий самой сложной геометрии, о которых ранее приходилось только мечтать. Поскольку масса легко льется и не трескается при сушке, технологи могут браться за изготовление деталей, которые раньше считались бракоопасными. В аэрокосмической отрасли эта технология позволяет производить высокотемпературные тигли для точного литья турбинных лопаток авиационных двигателей, где малейшая дефектность стоит жизни машинам [1]. В оборонной и ядерной сферах из таких композитов делают звуко- и теплоизоляционную футеровку для корпусов подводных лодок, а также защитные оболочки для малогабаритных ядерных реакторов. Также материал отлично показывает себя в качестве направляющих элементов для электродинамических ускорителей, где сочетаются требования к высочайшей механической прочности и радиационной стойкости [5].

При этом нанокерамика — это не только фантастические ракеты и подлодки, но и самый что ни на есть прикладной народнохозяйственный сектор. Разработанные материалы уже сегодня используются для массового изготовления электротехнических изоляторов и элементов для промышленных печных топок. Огромный потенциал заложен в создании огнеупоров с теплоизоляционным слоем на базе вспученного вермикулита и керамовермикулитовых футеровочных плит, что критически важно для энергосбережения в металлургии и строительстве. Отдельного внимания заслуживает импортозамещение: технология оказалась невероятно эффективной для производства и замены керамических деталей термических агрегатов, работающих на зарубежных линиях (например, элементов радиационных труб печей «AICHELIN» или деталей для термоагрегатов «EYSSA»), включая горелочные камни, спираледержатели и элементы канализированных полов обжиговых вагонеток [1].

Сам технологический процесс при всей своей научной сложности выглядит удивительно лаконично и не требует строительства заводов будущего. Он включает в себя подготовку порошка с заданным зерновым составом, синтез неорганической связки, их тщательное перемешивание до получения текучей массы, розлив по формам и сушку для первичного отверждения. После извлечения заготовки из формы следует лишь мягкая термообработка, которая фиксирует геометрию. Варьируя параметры на этих этапах, инженеры могут «программировать» свойства будущего изделия, закладывая в него именно те характеристики, которые нужны конкретному заказчику. По сути, мы наблюдаем, как фундаментальные исследования наноструктур перерастают в доступную, экономичную и

невероятно гибкую технологию, способную полностью обновить парк огнеупорных и конструкционных материалов в промышленности [4].

Список литературы

1. Мурзакова А.Р., Валеев И.Р., Шаяхметов У.Ш. Технология эффективных многофункциональных керамических композиционных материалов // Наука и бизнес: пути развития. – 2026. (Базовая статья, описывающая технологию, параметры влажности, температурные режимы и области применения).

2. Белаков А.В. Проблемы технологии нанокерамики // Техника и технология силикатов. – 2003. – № 3-4. – С. 39-50. (Фундаментальный труд, раскрывающий механизмы формирования наноструктур, влияние удельной поверхности и роль наночастиц в процессах спекания).

3. Бакунов, В. С. Изменения структуры при нагревании и высокотемпературная деформация композитов на основе пиропфиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау / В. С. Бакунов, А. Р. Мурзакова, У. Ш. Шаяхметов, Р. У. Шаяхметов, Л. В. Якупова // Стекло и керамика. – 2013. – № 1. – С. 24–28.

4. Шаяхметов, У. Ш. Эффективная многофункциональная наноструктурированная композиционная керамика / У. Ш. Шаяхметов, А. Р. Мурзакова // Новые огнеупоры. – 2014. – № 2. – С. 19–21.

5. Егупов А.А., Иванов С.П. Наноструктурированные композиты в современном машиностроении и энергетике. – М.: Машиностроение, 2021. – 312 с. (Современный взгляд на практическое внедрение наномодифицированной керамики в узлы трения, электротехнику и специализированное оборудование, включая импортные аналоги).

© Насхутдинов И.И., Фаздалова И.Р., Ахметшина А.С.,
Ахметшин Б.С., 2026

УДК 620.22-022.532

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ПЕРЕДОВЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ОПИРАЮТСЯ НА ПРИНЦИПИАЛЬНО НОВЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ МАТЕРИАЛОВ НА МИКРОСКОПИЧЕСКОМ УРОВНЕ

Насхутдинов И.И., Ахметшин Б.С., Фаздалова И.Р.
Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Использование наноразмерных компонентов в системе неорганического наполнителя и связующего вещества позволяет радикально изменить традиционные представления о процессах формования и термической обработки. Введение всего двух-четырех процентов нанодисперсного неорганического связующего в порошковую шихту обеспечивает исключительную подвижность и текучесть массы при влажности всего четыре-пять процентов, что кардинально отличается от

привычных двадцати-тридцати процентов в классических технологиях. Такой эффект достигается благодаря огромной удельной поверхности частиц связующего, размер которых не превышает двухсот нанометров, что создает беспрецедентно высокую плотность активных поверхностных связей между зернами наполнителя. В результате материал обретает способность легко заполнять сложнейшие геометрические формы, а последующая щадящая термообработка при температурах от семисот до тысячи четырехсот градусов Цельсия обеспечивает спекание и формирование прочного каркаса из тугоплавких соединений, таких как нитриды кремния и алюминия, диоксид циркония или корунд, что было бы невозможно без наномодификации при столь низких температурах [1].

Подобный технологический прорыв открывает широчайшие возможности для производства широкого спектра функциональных изделий, востребованных в самых требовательных отраслях промышленности. Гибкость метода позволяет создавать не только стандартные элементы, но и детали сложнейшей конфигурации, включая направляющие компоненты для электродинамических ускорителей, защитные керамические оболочки для компактных ядерных реакторов и высокоточные тигли для литья авиационных двигателей. Особую ценность представляет возможность изготовления эффективной звуко- и теплоизоляционной футеровки для корпусов подводных судов, а также разнообразной электротехнической продукции, включая изоляторы и элементы для промышленных топок. Кроме того, разработанный подход успешно применяется для производства и замены изношенных деталей термических агрегатов, таких как горелочные камни, элементы канализированных полов обжиговых вагонеток и компоненты радиационных труб печей зарубежного и отечественного производства, демонстрируя высокую экономическую эффективность за счет значительной экономии энергетических ресурсов на этапе первичного обжига.[2]

Отдельного внимания заслуживает решение одной из самых острых производственных проблем в области литья высокоточных авиационных деталей, а именно создание надежных тиглей для плавки и разлива жаропрочных сплавов на никелевой основе с температурой расплава до тысячи семисот градусов Цельсия. Традиционные огнеупорные формы в экстремальных производственных условиях быстро выходят из строя: они подвергаются растрескиванию, расслоению и выкрашиванию, в результате чего мелкие частицы керамики попадают в состав выплавляемого металла, что является категорически недопустимым дефектом. Для преодоления этих ограничений была разработана безобжиговая или низкотемпературная технология, в которой ключевую роль играют наноструктуры, обеспечивающие исходной массе способность заполнять сложные формы с последующим быстрым набором прочности и сохранением заданной геометрии. Механизм формирования такой наноструктуры позволяет

материалу выдерживать колоссальные термические нагрузки без разрушения, гарантируя отсутствие химического взаимодействия с расплавом и предотвращая загрязнение металла газами или инородными включениями [2].

Экспериментальная проверка разработанных форм подтвердила их исключительную стабильность в экстремальных условиях. Испытания на высокотемпературную деформацию и ползучесть при температуре тысяча шестьсот градусов Цельсия под нагрузкой показали, что за шесть часов деформация не превышает трех десятых процента, а за двадцать часов составляет всего пятьдесят пять сотых процента. При длительном воздействии в течение семидесяти одного часа наблюдается сильное уплотнение композиции за счет активного спекания и объединения агрегатов, при этом связка превращается в непрерывную фазу, надежно скрепляющую всю структуру без изменения общего объема пор. Сам технологический цикл изготовления таких тиглей отличается лаконичностью и включает быстрое смешивание электрокорунда, тонкомолотого глинозема, циркониевого сырья и неорганического связующего, формование с виброуплотнением, щадящую сушку при семидесяти-восемидесяти градусах и последующий обжиг при восьмиста-девятистах градусах.[3] Финальная пропитка готового изделия суспензией и кратковременная выдержка при тысяче двухстах градусах обеспечивают достижение высочайших физико-технических характеристик, включая плотность не менее двух целых и девяносто сотых грамма на кубический сантиметр и прочность при сжатии свыше сорока мегапаскалей, что в совокупности с полным отсутствием трещин и раковин на рабочей поверхности делает данные изделия полностью готовыми к внедрению в серийное авиационное производство.

Список литературы

1. Шаяхметов, У. Ш. О керамическом материаловедении / У. Ш. Шаяхметов // Новые технологии в материаловедении : материалы I научно-практической конференции с международным участием / отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. – 2015. – С. 8–11.

2. Shayakhmetov, A. U. Technology of reaction bonded silicon carbide (SiC) products / A. U. Shayakhmetov, M. Li, U. Sh. Shayakhmetov // Новые технологии в материаловедении: материалы I научно-практической конференции с международным участием / отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. – 2015. – С. 13.

3. Шаяхметов, У. Ш. Пиропфиллитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Тау как сырье для керамической промышленности / У. Ш. Шаяхметов, Г. Х. Янышева, Л. У. Киеккужина, В. С. Третьякова // Современные технологии композиционных материалов: материалы II научно-практической молодежной конференции с международным участием / отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. – 2016. – С. 189–190.

© Насхутдинов И.И., Ахметшин Б.С., Фаздалова И.Р. 2026

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПОЛЗУЧЕСТЬ КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПИРОФИЛЛИТОВОГО СЫРЬЯ С ФОСФАТНЫМИ СВЯЗУЮЩИМИ

Никитина В.А., Ахметшина А.С., Ахтямова А.Р., Фаздалова И.Р.
Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Пирофиллит ($H_2Al_2(SiO_3)_4$) является гидросиликатом алюминия, обладающим высокой огнеупорностью, химической стойкостью и хорошей обрабатываемостью. Применение минерала пирофиллита в производстве керамики и огнеупоров определяется такими характеристиками, как хорошая механическая обрабатываемость, высокая химическая стойкость, низкое содержание оксидов щелочных металлов и красящих оксидов. Из пирофиллитового сырья можно получать качественные огнеупоры по технологии безобжиговых материалов на основе фосфатных связующих.

В данной работе были изучены физико-химические основы высокотемпературной деформации и ползучести керамических композиционных материалов на основе пирофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау и фосфатных связующих (ортофосфорной кислоты H_3PO_4 и алюмохромфосфатного связующего АХФС), а также оценка перспектив промышленного использования этого сырья.

В качестве связующих использовали ортофосфорную кислоту (H_3PO_4) и алюмохромфосфатное связующее (АХФС) с учётом доступности материала, его относительной дешевизны и высокой технологичности, позволяющей получать композиты с высокими физико-техническими свойствами.

Образцы для технологических и физико-химических исследований готовили смешиванием порошковых компонентов различных фракций с фосфатным связующим (H_3PO_4 или АХФС). В качестве тонкомолотой составляющей в них использовали порошки пирофиллита месторождения Куль-Юрт-Тау и оксид алюминия, а в качестве зернистого наполнителя (размер частиц до 3 мм) – среднего и мелкого – использовали обожжённое при $1200^\circ C$ сырьё и дробленое кварц-пирофиллитовое сырьё (КПФС).

Исследование деформации композиций проводилось на установке, разработанной и изготовленной в ГУП БашНИИстрой. Она позволяет проводить испытания безобжиговых композитов с пределом изменения размеров до 20 мм (40%), при температурах до $1550^\circ C$ и нагрузках до 5 МПа методом одноосного сжатия. Особенностью установки является исключение «концевых эффектов», то есть регистрация изменения линейных размеров (длины) образца лишь в зоне равномерного распределения напряжений.

Образцы-цилиндры для испытаний готовились двух типоразмеров. Образец диаметром 36 мм и высотой 50 мм (ГОСТ 4070–2000) изготавливался из соответствующего состава формованием. Второй тип

образца имел высоту 76 мм. Величину относительной деформации ε рассчитывали по формуле:

$\varepsilon = (\Delta l/l_0) \cdot 100\%$, где Δl – абсолютное изменение высоты образца или абсолютное изменение расстояния между корундовыми метками; l_0 – первоначальная высота образца или расстояние между метками, мм.

Нагрузку создавали грузами в диапазоне от 0,2 до 8 МПа. Температура измерялась двумя платина-платинородиевыми термодарами ПП-1. Установка имела приборы контроля и электронного программного регулирования температуры нагрева, а также систему автоматического управления, дающую возможность во время эксперимента задавать необходимый характер изменения температуры.

На всех кривых деформации образцов на основе пирофиллита наблюдалось изменение темпа хода в температурной области 400–500°C, связанное с удалением воды. Дальнейшее расширение образца, в том числе и под нагрузкой, определяется процессами в фосфатной связке, образовавшейся при предварительной термообработке. Структурные изменения, обусловленные поликонденсацией и образованием полифосфатов выше 500°C и другими фазовыми превращениями, на кривых деформации не проявляются до температур 1000°C и выше.

Из кривых деформации композиции КПФС- H_3PO_4 следует, что до температур около 1100°C наблюдается расширение образца, причём чем выше нагрузка, тем расширение меньше; при дальнейшем нагреве происходит сжатие. Температура начала сжатия увеличивается с ростом температуры предварительной термообработки композиций. Стабильная структура формируется после предварительной термообработки при температуре около 850°C в течение 1 ч выдержки. В таких образцах содержатся ортофосфат алюминия AlPO_4 (С-форма) и пирофосфат кремния SiP_2O_7 .

Композиция на АХФС имеет аналогичный ход деформации, однако температура её начала снижается в среднем на 50°C. Величина деформации также больше при данных внешних условиях. Композиции с использованием H_3PO_4 деформируются меньше и обладают меньшей ползучестью, чем на АХФС, что связано с образованием большего количества стеклофазы в последних.

Для составов из кварц-пирофиллитового сырья деформация начинается при нагреве выше 1380–1430°C, что связано с образованием легкоплавких силикофосфатов и стекла.

Микроструктура композиции КПФС (зернистый)- H_3PO_4 после испытаний на ползучесть при 1350°C (по данным рентгенофазового анализа) состоит из муллита, кварца, фосфатной связки в сочетании с наполнителем из обожжённого пирофиллитового сырья. При высокотемпературной обработке материал с пористой структурой подвергается деформации. При этом изменяются некоторые характеристики указанные в таблице 1.

Табл. 1. Средние результаты сравнительных исследований характеристик материала до и после деформации приведены в таблице.

Показатель	До испытания	После испытания
Открытая пористость, %	28,5	21,2
Максимальный размер пор, мкм	48	42
Средний размер пор, мкм	31	28
Плотность, г/см ³	1,68	1,76

Как следует из представленных результатов, процесс деформации при ползучести сопровождается усадкой образца. При этом открытая пористость и средний размер пор уменьшаются. Объяснить полученные результаты можно, принимая во внимание тот факт, что формирование и эволюция структуры материала происходят под нагрузкой (в присутствии также жидкой фазы), что подтверждается наличием характерных структурных изменений фрагментов.

В процессе высокотемпературной деформации структурные преобразования в композиционном материале происходят путём объёмного перераспределения связующей фазы – легкоплавкой составляющей. При этом деформация образца осуществляется как за счёт изменения размеров зёрен и их агрегатов, так и за счёт деформации фосфатной связки. Величина деформации зависит от температуры и нагрузки; так, при нагрузке 0,4 МПа она составляет 0,5% при 1200°C, 0,8% при 1300°C, 0,9% при 1450°C.

Анализируя приведённые выше результаты исследований, можно выделить 3 условных температурных интервала: 1) низкотемпературный – до 1100°C; 2) среднетемпературный – от 1100 до 1300°C; 3) высокотемпературный – выше 1300°C. В этих интервалах поведение образцов существенно различается.

В процессе испытания на ползучесть в интервале низких температур происходит непрерывное изменение фазового состава как по поверхности связующей фазы, так и вместе с поверхностными слоями связки. В среднетемпературном интервале происходит резкое возрастание ползучести в неустановившийся период (в течение 12–16 ч) под действием даже небольших (0,1–0,2 МПа) напряжений. Основным механизмом ползучести при этом – проскальзывание зёрен наполнителя. Активизация этого механизма в этом интервале температур обуславливается резким возрастанием скорости образования силикофосфатного стекла. Эти процессы растянуты во времени, их продолжительность, в зависимости от температуры испытаний, может меняться от 100 ч при температурах до 1100°C до нескольких часов при температурах выше 1300°C.

В интервале высоких температур (1350–1550°C) интенсивные фазовые превращения не происходят. Все компоненты композиции находятся в кристаллическом или аморфном состояниях. Деформация протекает под действием трёх процессов: диффузионно-вязкого течения,

проскальзывания зёрен наполнителя и спекания. Какой из этих процессов превалирует, зависит от величины приложенной нагрузки и температуры.

С учётом проведённых исследований изготовлены следующие материалы: высокотемпературная обмазочная масса, предназначенная для футеровки тепловых агрегатов с температурой службы до 1650°C (в частности, для нанесения на рабочую поверхность фурмы топок судовых паровых котлов), которая работает в среде газообразных продуктов горения топлива при циклическом воздействии температур в контакте с любой огнеупорной основой. Технические характеристики: влажность 10–12%, плотность 2500–2400 кг/м³, прочность при сжатии после нагрева до 300°C – не менее 12 МПа, до 600°C – не менее 17 МПа, до 1450°C – не менее 21 МПа, предельная температура применения 1650°C, огнеупорность не менее 1650°C, термостойкость (1300°C – вода) более 30 теплосмен, линейная усадка при 1000°C $\pm 0,1\%$, при 1200°C $\pm 0,3\%$.

Также изготовлен жаростойкий бетон, предназначенный для изготовления бетонных изделий и монолитных футеровок (футеровки платинового тигля). Массовая доля: Al₂O₃ не менее 94%, Fe₂O₃ не более 0,05%, SiO₂ не более 0,15%. Время схватывания: начало – 3 ч 00 мин, конец – 3 ч 33 мин. Огнеупорность не менее 1750°C. Разработаны массы корундовые набивные, предназначенные для футеровки монолитных тепловых агрегатов. Массовая доля: Al₂O₃ не менее 90%, SiO₂ 3,2–5%, Fe₂O₃ не более 1%, P₂O₅ 2,6–3,5%, влажность 3,3–3,8%.

Деформация композитов на основе пиррофиллитового сырья в зависимости от температуры испытаний обуславливается тремя механизмами: проскальзыванием зёрен наполнителя (действует при всех температурах испытаний); диффузионно-вязким течением, роль которого становится значительной при температурах выше 1000°C; спеканием, начинающимся при 1100°C. При возникновении жидкой фазы возможно проявление вязкого течения. Для композиций характерно резкое увеличение ползучести в интервале 1150–1200°C; при введении крупнозернистого наполнителя в количестве 30–60% повышается деформационная стойкость материала и на 1–2 порядка величины снижается скорость ползучести. Результаты исследований показывают возможность получения материалов и изделий с заданными техническими характеристиками огнеупорного, технического и строительного назначения на основе пиррофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау и фосфатных связующих. Композиции с ортофосфорной кислотой предпочтительнее для работы при высоких температурах и нагрузках, так как они деформируются меньше, чем на АХФС. Установленные механизмы ползучести позволяют прогнозировать поведение материалов в эксплуатации. Промышленная разработка месторождения является актуальной задачей для Республики Башкортостан, которая в настоящее время не располагает собственной сырьевой базой для производства керамики и огнеупоров.

Список литературы

1. Мурзакова А.Р., Шаяхметов У.Ш., Бакунов В.С. Исследование высокотемпературной ползучести композиционных материалов на основе пиррофиллитового сырья // Огнеупоры и техническая керамика. – 2011. – № 3. – С. 36–40.
 2. Шаяхметов У.Ш., Мустафин А.Г. Особенности высокотемпературной ползучести безобжиговых керамических материалов. – М.: Химия, 2005. – 224 с.
 3. Шаяхметов У.Ш. Фосфатные композиционные материалы и опыт их применения. – Уфа: РИЦ «Старая Уфа», 2001. – 176 с.
 4. Бакунов В.С., Беляков А.В. Ползучесть и структура керамики // Неорганические материалы. – 2000. – Т. 36. – № 12. – С. 1532–1536.
 5. Абзгильдин Ф.Ю., Амиров Р.А., Байрашев Р.Р., Шаяхметов У.Ш. О возможностях использования пиррофиллитовых сланцев месторождения Куль-Юрт-Тау в безобжиговых жаростойких материалах на фосфатной связке. – В кн.: Геология, минералогия и технология пиррофиллитового сырья. – Свердловск: УрО АН СССР, 1991. – С. 161–169.
- © Никитина В.А., Ахметшина А.С., Ахтямова А.Р.,
Фаздалова И.Р., 2026

УДК 544.77:546.57

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СТАБИЛИЗАЦИИ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА В ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦАХ (АДСОРБЦИЯ, ХИМИЧЕСКАЯ ИММОБИЛИЗАЦИЯ)

Никитина В.А., Ахметшин Б.С., Фаздалова И.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Наночастицы серебра (AgNP) при введении в полимеры придают антимикробные свойства, однако склонны к агрегации и вымыванию. В работе проведён сравнительный анализ двух подходов: адсорбционной (физической) и химической (ковалентной) иммобилизации на основе данных литературы.

Адсорбционная иммобилизация (альгинатные гидрогели, ПВДФ-мембраны) основана на электростатическом удержании Ag^+ или AgNP. В альгинатных микросферах коэффициент диффузии AgNP размером 3,9 нм составляет $1,27 \times 10^{-18} \text{ м}^2/\text{с}$, а за 7 дней в физиологическом растворе высвобождается около 30% серебра [1, 2]. При введении AgNP в ПВДФ-мембраны методом фазового инверсирования вымывание достигает 42,34% уже на стадии получения [3]. Размер частиц варьирует от 20 до 60 нм, ζ -потенциал равен +30,1 мВ [4].

Химическая иммобилизация предполагает ковалентное связывание AgNP с матрицей. Для мембран на основе оксида графена и хитозана, сшитых через фумароилхлорид, серебро осаждается без внешнего восстановителя за счёт аминогрупп. Массовая доля Ag достигает 16,95%,

вымывание не превышает 3,81%, а каталитическая активность в реакции восстановления 2,4-динитрофенола сохраняется в течение 6 циклов с константой скорости $13,5 \times 10^{-3} \text{ мин}^{-1}$ [2]. Для силиконовых эластомеров с ковалентно закреплёнными AgNP модуль упругости при растяжении составляет 0,20–0,30 МПа, прочность на разрыв – 0,70–1,10 МПа, а антимикробная активность против *E. coli* достигает 41,6% при концентрации AgNP 32,98 мкг/мл [5].

Таким образом, химическая иммобилизация обеспечивает в 10–12 раз более низкое вымывание серебра (3,8% против 42,3%) и значительно более высокую операционную стабильность по сравнению с адсорбцией. Адсорбционные методы проще в реализации, но уступают по долговечности, что важно для длительно работающих антимикробных покрытий и катализаторов.

Список литературы

1. Kostic D. et al. Silver release from nanocomposite Ag/alginate hydrogels in the presence of chloride ions // *J. Nanopart. Res.* – 2016. – Vol. 18. – Art. No. 76. – P. 10–11.
2. Mahlangu R. et al. In situ growth of silver nanoparticles onto covalently bonded graphene oxide-chitosan... // *Polymers.* – 2021. – Vol. 13, No. 21. – P. 3800.
3. Kamarudin N.D.A. Thermal treatment approach in immobilizing silver nanoparticles into polyvinylidene fluoride membranes. – PhD Thesis, Univ. Malaya, 2022. – P. 108–110.
4. Ateş M. et al. Synthesis and characterization of silver nanoparticles and coating with chitosan // *Politeknik Dergisi.* – 2021. – Vol. 24, No. 4. – P. 1406.
5. Quintero-Quiroz C. et al. Silver nanoparticle-containing polymer composite for prosthetic devices // *Biomater. Res.* – 2020. – Vol. 24, No. 13. – P. 10–11.

© Никитина В.А., Ахметшин Б.С., Фаздалова И.Р., 2026

УДК 544.77:535.4

ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ НА ОСНОВЕ НАНОКРИСТАЛЛОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ: САМООРГАНИЗАЦИЯ, КОНТРОЛЬ ЦВЕТА И СЕНСОРНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Никитина В.А., Ахметшин Б.С., Фаздалова И.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Нанокристаллы целлюлозы (CNC), получаемые кислотным гидролизом растительного сырья, спонтанно самоорганизуются в водных суспензиях в хиральную нематическую (холестерическую) жидкокристаллическую фазу. При испарении воды эта упорядоченная структура сохраняется в твёрдой плёнке, что приводит к появлению структурной окраски за счёт брэгговского отражения света [1]. Длина

волны отражения (λ) описывается соотношением $\lambda = n \cdot p \cdot \sin\theta$, где p – шаг хиральной спирали, n – средний показатель преломления, θ – угол падения света.

Шаг спирали определяется условиями получения CNC, ионной силой суспензии, ультразвуковой обработкой и добавками. Увеличение времени гидролиза с 60 до 120 мин приводит к уменьшению длины частиц со 210 до 100 нм и росту ζ -потенциала с -25 до -42 мВ, что уплотняет упаковку и смещает цвет в синюю область [2]. Добавление NaCl (30–120 ммоль/кг) экранирует отрицательные заряды на поверхности CNC, сжимает шаг и также вызывает синий сдвиг [3]. Введение нейтральных полимеров (полиэтиленгликоль, глицерин) увеличивает межслоевое расстояние и даёт красный сдвиг, тогда как катионный полимер PDDA (0,57–1,69 мас. %) нарушает дальний порядок и подавляет иридесценцию [4].

Благодаря гидрофильности CNC плёнки обратимо меняют цвет при изменении относительной влажности (RH). При повышении RH с 11% до 97% шаг спирали увеличивается, и отражение сдвигается в красную область на 60–100 нм [5]. Композиты CNC с полиакриламидом (РААм) показывают время отклика 6–10 с и высокую циклическую стабильность. На основе таких материалов разработаны датчики влажности, летучих органических соединений и давления [6].

Для создания стабильных структурных цветов рекомендовано использовать CNC с временем гидролиза 90–120 мин (узкое распределение по длине, ζ -потенциал $-35 \dots -42$ мВ), вводить пластификатор (глицерин 5–10 мас. % или ПЭГ) для гибкости и добавлять PDDA (1–2 мас.%) для снижения иридесценции. Для влажностных сенсоров оптимальны композиты CNC/РААм. Таким образом, CNC являются перспективной экологичной платформой для создания оптических сенсоров и покрытий.

Список литературы

1. Frka-Petesic B. et al. Structural color from cellulose nanocrystals or chitin nanocrystals // *Chem. Rev.* – 2023. – Vol. 123. – P. 12595.
2. Wang L. et al. Spontaneously assembled cellulose nanocrystal structural color films with tunable properties // *Sci. Rep.* – 2025. – Vol. 15. – 28840.
3. Dong X. et al. Non-iridescent and wide-color-range structural coloration enabled by cellulose nanocrystals // *ACS Sustainable Chem. Eng.* – 2022. – Vol. 10. – P. 10641.
4. Duan R. et al. Structural color controllable humidity response chiral nematic cellulose nanocrystalline film // *Biosensors.* – 2022. – Vol. 12. – 707.
5. Liu J. et al. Responsive cellulose nanocrystal-based liquid crystals: From structural color to applications // *Responsive Mater.* – 2025. – Vol. 3. – e70020.
6. Singh S. et al. Recent advances in cellulose nanocrystals-based sensors: a review // *Mater. Adv.* – 2024. – Vol. 5. – P. 2622.

© Никитина В.А., Ахметшин Б.С., Фаздалова И.Р., 2026

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА СЛАНЦЕВ

Лумбунов Е.Э., Орехов А.С., Родосский К.К.,

Антонюк С.Н., Бейлина Н.Ю.

*Институт тонких химических технологий имени М. В. Ломоносова,
«МИРЭА – Российский технологический университет» Москва, Россия*

Российская Федерация обладает значительными запасами горючих сланцев, которые представляют собой неосвоенный, но перспективный ресурс. Являясь альтернативным источником энергии и ценных химических соединений, горючие сланцы требуют исследований для полного раскрытия потенциала и выбора наиболее эффективного направления переработки [1].

В настоящей работе рассматривается комплексный подход к переработке образцов горючих сланцев месторождений Узбекистана и Поволжья с реализацией процессов полукоксования, окислительной активации карбонизатов с последующей деминерализацией полученных адсорбентов.

Процесс полукоксования образцов сланцев проводили в реакторе из нержавеющей стали при атмосферном давлении в инертной среде с конечной температурой коксования 450 °С. Полученные полукоксы подвергали окислительной активации в атмосфере CO₂ во вращающемся трубчатом кварцевом реакторе при температуре 850 – 900 °С в течение часа.

Показано, что при полукоксовании при температуре 450 °С образца сланца Волжского бассейна при выходе полукокса 71,6% последующая активация карбонизата с обгаром 21% приводит к повышению удельной поверхности с 21 до 186 м²/г, а после деминерализации раствором соляной кислоты увеличивается до 237 м²/г. Аналогичные результаты получены при переработке образца сланца узбекского месторождения. С целью предварительной механохимической активации сланцев образцы обрабатывали в аппарате с вихревым слоем (АВС) ферромагнитных элементов [2]. При этом выход полукокса составил 67,6%. Проведение окислительной активации и деминерализации приводит, соответственно, к увеличению удельной поверхности с 22 до 190 м²/г и 201 м²/г. Таким образом показана возможность получения из сланцев адсорбентов с высокой удельной поверхностью.

Список литературы

1. Лapidус А.Л., Бейлина Н.Ю., Худяков Д.С., Жагфаров Ф.Г., Илясов В.Н. Комплексная переработка горючих сланцев Волжского бассейна – Химия твердого топлива, 2018. №2. – 1-8 с.

2. Логвиненко Д.Д., Шеляков О.П. Интенсификация технологических процессов в аппаратах с вихревым слоем – Изд. «Техника», 1976, 144 с.

© Лумбунов Е.Э., Орехов А.С., Родосский К.К.,
Антонюк С.Н., Бейлина Н.Ю., 2026

УДК 547.932

НОВЫЕ ЛИГАНДЫ АСИАЛОГЛИКОПРОТЕИНОВОГО РЕЦЕПТОРА НА ОСНОВЕ ЖЕЛЧНЫХ КИСЛОТ: СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Павлей Ю.Р.¹, Зык Н.В.¹, Белоглазкина Е.К.¹, Ямансаров Э.Ю.²

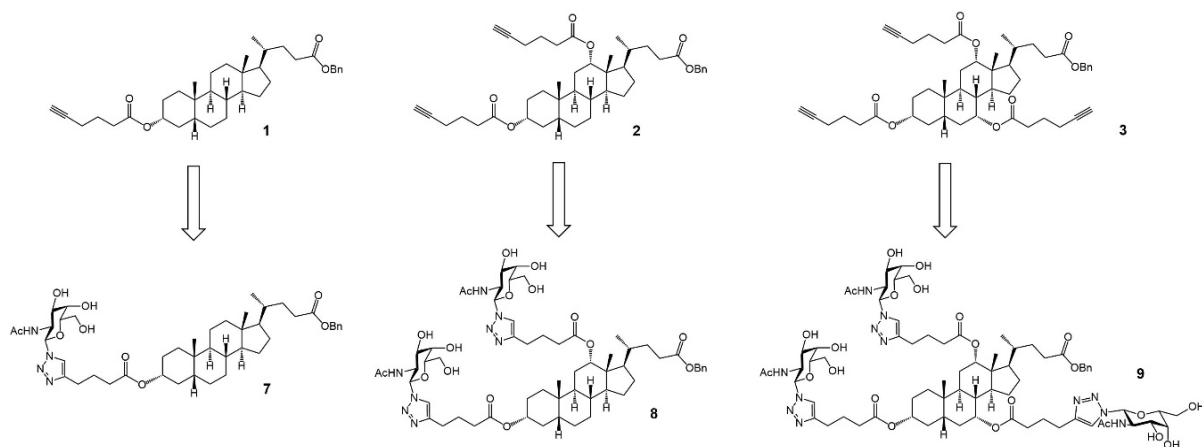
¹*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия*

²*Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия*

Асиалогликопротеиновый рецептор (ASGPR) является одной из ключевых мишеней для адресной доставки лекарственных препаратов в гепатоциты благодаря своей высокой плотности на поверхности клеток печени и быстрой рециркуляции [1]. Наиболее эффективными лигандами ASGPR признаны триантеннарные гликопроизводные с терминальными остатками N-ацетил-D-галактозамина (GalNAc), однако их синтез часто остаётся многостадийным и трудоёмким.

В настоящей работе предложены новые полусинтетические лиганды ASGPR на основе желчных кислот - природных соединений, которые сочетают в себе стероидный каркас с оптимальным треугольным расположением гидроксильных групп (в случае холевой кислоты). Это позволяет использовать простую и эффективную стратегию сборки: этерификацию гидроксильных групп желчных кислот гекс-5-иновой кислотой с последующим медь-катализируемым азид-алкиновым циклоприсоединением (CuAAC) с 1-азидо-β-D-N-ацетилгалактозамином (GalNAc-N₃) [1,2]. С помощью простых синтетических превращений получены моноантеннарное (на основе литохолевой кислоты), биантеннарное (на основе дезоксихолевой кислоты) и триантеннарное (на основе холевой кислоты) производные с выходами 37–61% на финальной стадии.

Методом спектроскопии поверхностного плазмонного резонанса (ППР) измерена аффинность полученных конъюгатов к иммобилизованному ASGPR. Триантеннарный лиганд ХК-(GalNAc)₃ показал константу диссоциации 2.8 нМ, что сопоставимо с известными высокоаффинными аналогами. Моновалентный и бивалентный лиганды имели K_D порядка 48 нМ и 9.1 нМ соответственно, что подтверждает «кластерный эффект».



Цитотоксичность оценивали методом МТТ на клеточных линиях гепатоцеллюлярной карциномы (HepG2, Huh7), рака предстательной железы (PC3) и эмбриональных почек человека (HEK293T). Триантеннарный лиганд ХК-(GalNAc)₃ и его контрольный аналог с D-глюкозой оказались нетоксичны во всём диапазоне концентраций ($IC_{50} > 100$ мкМ). Моно- и биантеннарные производные проявляли умеренную цитотоксичность только по отношению к линии PC3 (IC_{50} 76–93 мкМ), что объясняется их большей поверхностной активностью.

Таким образом, разработанные триантеннарные конъюгаты жёлчных кислот с GalNAc являются перспективными высокоаффинными и нетоксичными лигандами ASGPR для создания невирусных таргетных систем доставки лекарственных препаратов в печень.

Список литературы

1. Huang X., Leroux J., Castagner B. *Bioconjugate Chem.*, 2017, 28, 283-295.
2. Yamansarov E.Y. et al. *Bioconjugate Chem.*, 2021, 32, 763-781.
3. Pavley Yu.R. et al. *Russ. Chem. Bull.*, 2023, 72, 724-739.

© Павлей Ю.Р., Зык Н.В., Белоглазкина Е.К., Ямансаров Э.Ю., 2026

УДК 54.057:547.74:666.321

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОЛИПИРРОЛ/ГАЛЛУАЗИТ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

Петрова Е.Г.¹, Лабеецкий А.Г.^{1, 2}, Рогачев А.А.¹

¹Институт химии новых материалов НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь,

²Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

Материалы на основе проводящих полимеров представляют собой популярную альтернативу полупроводниковым сенсорам для количественного и качественного обнаружения токсичных и пожароопасных летучих соединений. Одним из наиболее широко

исследующихся проводящих полимеров является полипиррол (PPy) благодаря уникальному сочетанию высокой проводимости при комнатной температуре и относительно высокой стабильности собственной сопряженной системы по сравнению с другими полиеновыми структурами. Однако в условиях реальной эксплуатации чистый полипиррол подвержен постепенной временной деградации (эффект «старения»). Даже в отсутствие агрессивных газов компоненты окружающей атмосферы – кислород, углекислый газ и водяные пары – выступают в роли слабых нуклеофилов, которые взаимодействуют с катион-радикальными центрами полимера и вызывают его медленное необратимое дедопирование и окислительную деструкцию. Ситуация усугубляется при циклическом воздействии агрессивной атмосферы, приводящем к отравлению сенсора, необратимому дрейфу базового сопротивления и падению относительного сенсорного отклика. Для преодоления этих ограничений в современном материаловедении активно применяется стратегия создания гибридных композиционных материалов. Это позволяет не только улучшить механическую стабильность, но и повысить удельную поверхность и сформировать дополнительные центры адсорбции, тем самым увеличивая аналитический сигнал. Например, введение углеродных наноматериалов или оксидов переходных металлов позволяет существенно снизить дрейф базового сопротивления и повысить скорость релаксации сенсора [1].

Перспективным и экономически эффективным подходом к разработке газочувствительных проводящих композитов является использование природных минеральных компонентов, в частности слоистых и трубчатых алюмосиликатов, таких как монтмориллонит, каолинит и галлуазит [2-4]. К их преимуществам относятся высокая удельная поверхность, термическая и химическая стабильность, а также наличие развитой системы поверхностных функциональных групп, выступающих в роли естественных центров координации как для молекул мономера в процессе синтеза, так и аналита при последующей эксплуатации.

Эффективность применения алюмосиликатных наполнителей в разработке селективных и чувствительных сенсоров подтверждается и литературными данными. Так, показано, что интеркаляционные композиты полипиррол/монтмориллонит демонстрируют сенсорный отклик на уровне 20-60% по отношению к ряду летучих растворителей при экспозиции в насыщенных парах в течение 100 с [4]. Особый интерес представляют композиты с галлуазитовыми нанотрубками, где за счет трубчатой архитектуры наполнителя фиксируются рекордно малые времена отклика и высокая воспроизводимость сигнала [5].

В данной работе в качестве альтернативного метода формирования высокочувствительных полимерных слоев на галлуазитовом носителе предложен метод полимеризации из газовой фазы (Vapor Phase Polymerization, VPP). Данный подход позволяет исключить загрязнение

сенсорного слоя растворителем и обеспечить протекание реакции по островковому механизму с контролируемым размером глобулярных зародышей.

Материалы и методы исследования. В работе использовались галлуазитовые нанотрубки (Halloysite nanoclay, Sigma–Aldrich, №685445, внешние диаметры ~30–70 нм, длина 1–3 мкм) в исходном состоянии без предварительной химической модификации. Нанотрубки диспергировали в ацетоне и подвергали ультразвуковой обработке в течение 30 мин. В результате были получены суспензии с массовой долей твердой фазы 6–10 масс. %, в которые вносили гексагидрат хлорида железа с концентрацией 0,1 М. По 3 мкл полученных суспензий наносили на подложки (пластины кремния для исследования микроструктуры либо на рабочую область графитовых встречно-штыревых электродов для измерения электрофизических и сенсорных свойств) и высушивали, после чего выдерживали в насыщенных парах пиррола при комнатной температуре в течение 2–6 мин. Затем образцы промывались ацетоном и высушивались на воздухе.

Морфологию образцов изучали методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) на сканирующем зондовом микроскопе MultiMode III (Veeco, USA) в полуконтактном режиме. Электрофизические характеристики и сенсорный отклик к парам аммиака (60–6000 ppm) исследовали методом импедансной спектроскопии с помощью измерителя иммитанса Е7-20 (МНИПИ). Сенсорные свойства образца по отношению к аммиаку определяли, внося электрод с нанесенным покрытием в герметичный сосуд с определенной концентрацией безводных паров аммиака и фиксируя изменение в силе тока I , протекающего по поверхности, при фиксированном напряжении (0,08 В). Относительный отклик ξ определяли как $\Delta I/I_0$, где ΔI – падение силы тока после выдерживания 50 с в аммиаке, I_0 – начальное значение силы тока перед внесением в пары NH_3 .

Результаты и обсуждение. Визуализация поверхности нанокомпозитов методом АСМ (рис. 1) позволила установить особенности пространственной организации полимерной фазы. Полученные в режиме фазового контраста изображения свидетельствуют о том, что в исследуемом временном диапазоне (2–6 мин) на поверхности галлуазита не происходит формирования сплошного конформного покрытия. Рост РРу протекает по гетерогенному островковому механизму с образованием дискретных глобул. При малых временах синтеза (2 мин) на внешней поверхности нанотрубок отмечены изолированные наноглобулы РРу округлой формы с диаметром ~40–60 нм, локализованные на дефектах решетки силиката и в местах концентрации окислителя. С увеличением времени экспозиции до 4–6 минут плотность глобул возрастает, а их диаметр увеличивается. Однако значительная часть поверхности

алюмосиликатного каркаса остается открытой, что сохраняет высокую мезопористость слоя.

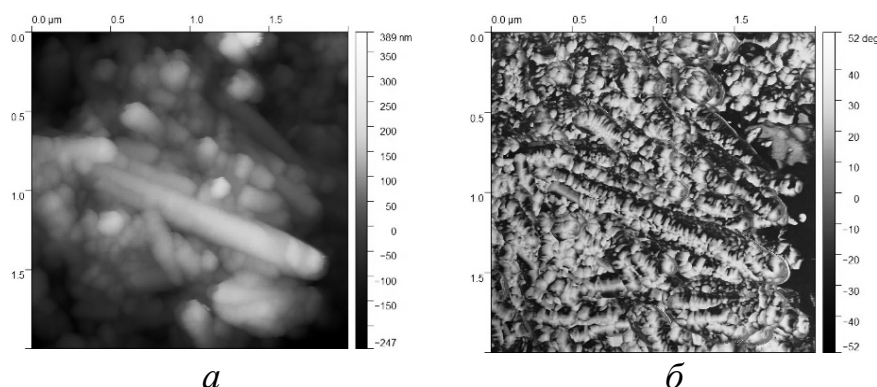


Рисунок 1 – АСМ изображения в топографическом (*а*) и фазовом (*б*) режимах для полипиррола на частицах галлуазита (6%-я суспензия, время полимеризации 10 мин)

Глобулярная морфология полимерного компонента определяет механизм формирования и сенсорной чувствительности проводящих путей. Перенос заряда в таких системах реализуется по механизму прыжковой проводимости между изолированными проводящими островками РРy. Квазивертикальные линии на годографах импеданса свидетельствуют о преимущественно емкостном поведении образцов. Согласно рис. 2, при взаимодействии с парами аммиака происходит рост как активной (Z'), так и мнимой (Z'') части полного сопротивления образцов, в результате чего годографы импеданса резко смещаются вправо и увеличиваются в высоту. Молекулы газа (доноры электронов) атакуют межглобулярные стыки – области локализации потенциальных барьеров проводящей перколяционной сети, вызывая тем самым локальное дедопирование полимера и падение проводимости в композите.

На рис. 3 представлены концентрационные зависимости относительного сенсорного отклика (ξ) образцов от концентрации паров аммиака. В целом использование галлуазитового носителя позволило повысить сенсорную чувствительность композитов в 2-4 раза по сравнению с полученными аналогичным методом пленками чистого полипиррола [6]. В системе с наименьшей концентрацией носителя (рис. 3, *а*) для 2 мин полимеризации наблюдаются минимальные значения чувствительности с быстрым выходом на плато, что свидетельствует о малом количестве центров адсорбции и быстром насыщении образца аммиаком. Максимальный отклик ($\sim 37\%$ при 6000 ppm) наблюдается при времени полимеризации 4 мин и соответствует формированию оптимальной перколяционной сети.

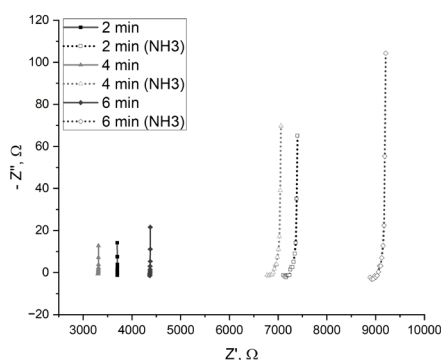


Рисунок 2 – Диаграммы Найквиста для композитов на основе 6%-х суспензий галлуазита при различных временах полимеризации (2, 4, 6 мин) до и после выдерживания в парах аммиака

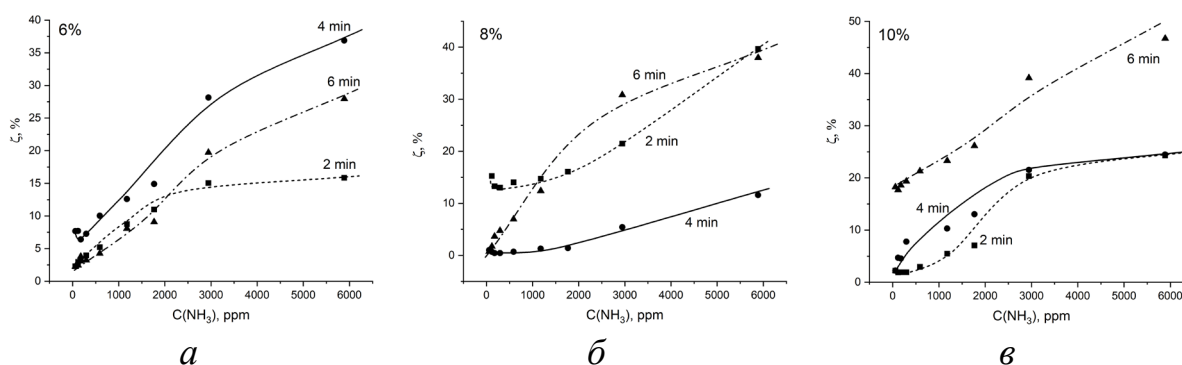


Рисунок 3 – Зависимость относительного отклика от концентрации паров аммиака для образцов на основе суспензий галлуазита с концентрациями 6% (а), 8% (б) и 10% (в) с различными временами полимеризации

Дальнейшее увеличение времени полимеризации выражается в снижении чувствительности и связано, вероятно, со снижением свободной поверхности полимера за счет срастания отдельных глобул между собой. Рост концентрации носителя (рис. 3, б), напротив, приводит к снижению чувствительности для 4 мин полимеризации, что может быть связано с пространственным разделением галлуазитовых трубок за счет растущих полимерных глобул, за счет чего нарушается целостность перколяционной сети. Дальнейшее увеличение времени полимеризации приводит к вторичному срастанию островков полипиррола, и чувствительность восстанавливается.

Наилучшими сенсорными характеристиками обладает образец со временем синтеза 6 минут, полученный из 10%-й суспензии галлуазита (рис. 3, в). Для него характерна линейная зависимость отклика от концентрации аммиака и максимальный отклик в 47% при концентрации 6000 ppm. Это связано с высокой плотностью носителя, предотвращающей укрупнение растущих глобул, и формированием разветвленной сети с большим количеством открытых адсорбционных центров. Образцы на 2 и 4 минуты имеют худшие характеристики выходят на общее плато насыщения (25%) из-за дефицита массы проводящей фазы.

Заключение. Высокочувствительные сенсорные композиты РРy/галлуазит с управляемой островковой архитектурой были получены методом полимеризации из газовой фазы при атмосферном давлении. Данные материалы обладают повышенной в 2-4 раза чувствительностью по сравнению с чистым полипирролом, полученным аналогичным способом. Установлено, что оптимальное время синтеза определяется концентрацией наполнителя: для 6%-й суспензии галлуазита – 4 мин, тогда как для 10%-й наибольший и линейный отклик (47% при 6000 ppm аммиака) достигается при 6 мин полимеризации, что обусловлено формированием пространственно распределенной перколяционной сети межглобулярных прыжковых контактов.

Работа выполнена в рамках подпрограммы «Создание новых импортозамещающих материалов и технологий на основе лесохимического и растительного сырья» (Лесохимия-3) государственной программы научных исследований «Химические процессы и технологии» на 2026-2030 годы

Список литературы

1. Ammonia Sensor Based on Vapor Phase Polymerized Polypyrrole / A. Ly et al. // *Chemosensors*, 2020, 8(2), p. 38.
2. Synthesis, characterization and some physicochemical properties of polypyrrole/halloysite composites / N. Eser et al. // *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 2020, 57(3), p. 222–228.
3. Robust Polypyrrole@Halloysite Nanotube-Coated Polyurethane Sponge as Multifunctional Flexible Sensors. / B. Liu et al. // *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 2023, 11(24), p. 8753–8763.
4. Gas sensor based on montmorillonite/polypyrrole composites prepared by in situ polymerization in aqueous medium / L.F.B.L. Pontes et al. // *Sensors and Actuators B*, 2013, 177, p. 1115–1121.
5. Flexible sensor based on self-assembly of halloysite nanotubes in ionic liquids/thermoplastic polyurethane composites / X. Zhou et al. // *Polymer Testing*, 2025, 150, p. 108931.
6. Петрова Е.Г., Сушкевич М.Д., Рогачев А.А. Влияние условий получения на термостабильность и сенсорные свойства полипиррола, полученного методом осаждения из газовой фазы // Актуальные вопросы современного материаловедения: материалы XII международной молодежной научно-практической конференции (г. Уфа, 18–19 июня 2025 г.) / отв. ред. А.А. Мухамедзянова [Электронный ресурс] / Уфимск. ун-т науки и технологий. – Уфа: Уфимский университет, 2025. – с. 86-90.

© Петрова Е.Г., Лабеецкий А.Г., Рогачев А.А., 2026

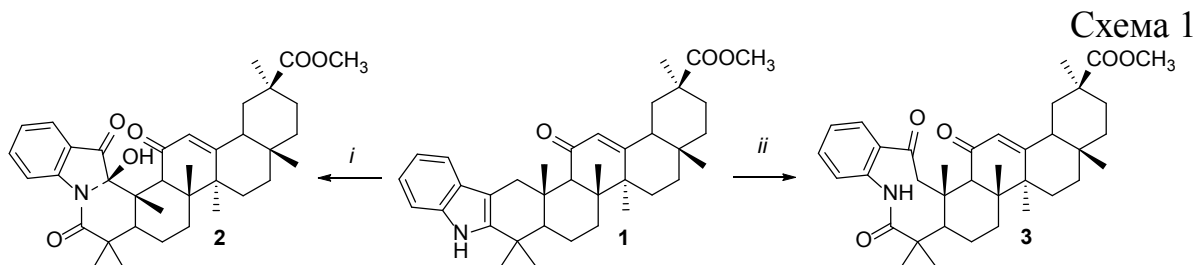
ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ МОДИФИКАЦИИ ИНДОЛО-
ГЛИЦИРРЕТОВОЙ КИСЛОТЫ

Попцов А.И., Казакова О.Б.

Уфимский Институт химии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

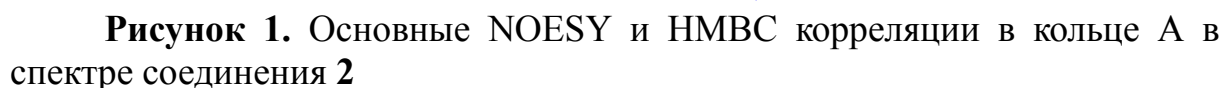
Индольный фрагмент входит в состав различных лекарственных препаратов, важных биогенных аминокислот и присутствует в структурах многих алкалоидов. Окисление индольного цикла приводит к структурно-разнообразным аза-гетероциклическим соединениям. В приложении к индоло-тритерпеноидам эти реакции практически не изучены, за исключением данных по окислению метил индоло-платаноата с использованием озона или диметилдиоксирана [1]. В ряде случаев перегруппировки в тритерпеновом остове, сопровождающие окисление индольного цикла, заранее не прогнозируемы, поэтому установление структуры образующихся нетривиальных продуктов представляет фундаментальный интерес. В настоящей работе мы изучили реакции окисления метилового эфира индоло-глицирретовой кислоты **1** озонном и *m*-CPBA (схема 1).

В качестве основного продукта окисления озонном индола **1** неожиданно выделили новую гибридную молекулу **2** с сочлененным гетероциклическим фрагментом по положениям C1-C2 тритерпенового остова.



Реагенты и условия *i* O_3 , CH_2Cl_2 , $-40\text{ }^{\circ}C$; *ii* 1.2 ммоль *m*-CPBA, CH_2Cl_2 , $22\text{ }^{\circ}C$, 24ч.

Так, в спектре ЯМР 1H этого соединения имеется уширенный сигнал при δ_H 4,97 м.д., который, по данным спектра HSQC, не имеет прямого взаимодействия ни с одним углеродом. В спектре ЯМР ^{13}C сигналы атомов C2 и C3 смещены в сильное поле проявляются при δ_C 197,95 м.д. и δ_C 176,59 м.д. Кроме того, при δ_C 90,91 м.д. обнаружен сигнал четвертичного атома углерода, значение химического сдвига данного сигнала является характеристическим для углеродного атома, связанного как с азотным, так и кислородным атомами одновременно. Все выше сказанное указывает на появление в структуре соединения **2** связей между амидным азотом и углеродом C1, а также гидроксильной группы и тем же углеродным атомом (Рис. 1).



группой C24 (δ_{H} 1,24 ppm). Помимо этого, в спектре NOESY наблюдаются взаимодействия амидного протона (δ_{H} 6,93 м.д.) с протонами метильной группы C23 (δ_{H} 1,37 м.д.) и метиновым протоном H-5 (δ_{H} 1,77 м.д.) (Рис.2).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект 25-23-01353, <https://ias.rscf.ru/user/doc/a.w.p.2025.118.main/24173981>.

Список литературы

1. E. F. Khusnutdinova, O. B. Kazakova, A. N. Lobov et. al. Synthesis of A-ring quinolones, nine-membered oxolactams and spiroindoles by oxidative transformations of 2,3-indolotriterpenoids. Org. Biomol. Chem. 2019. 17. P. 585-597.

© Попцов А.И., Казакова О.Б. 2026

УДК 661.833

КАРБОНАТ НАТРИЯ КАК СТРАТЕГИЧЕСКОЕ СЫРЬЁ ДЛЯ ТРАДИЦИОННЫХ И ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Порошина Е.В., Каримова Э.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Карбонат натрия Na_2CO_3 (кальцинированная сода) относится к стратегически значимым продуктам химической промышленности. Основные объёмы потребления приходятся на стекольную промышленность (ключевой сектор), химическое производство, металлургию, а также на выпуск бытовой химии и фармацевтическую отрасль. Крупнейшие производители – ПАО «Куйбышевазот», АО «БСК» и др. [1].

1. Традиционные области применения

Стекольная промышленность. Na_2CO_3 используется в качестве флюса для снижения температуры плавления кремнезёма (песка), что технологически необходимо при производстве всех видов стекла – от листового до оптического и медицинского [2,3]. В последние годы наблюдается рост спроса на архитектурное, автомобильное (лёгкое стекло для электромобилей) и упаковочное стекло [3].

Химическая промышленность. Карбонат натрия служит сырьём для получения гидроксида натрия (NaOH), тетрабората натрия ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), гидрофосфата натрия (Na_2HPO_4) и других соединений. В лабораторной практике применяется как эталонное вещество при настройке кислотно-основного титрования [2,3].

Металлургия. Используется для обезжиривания металлических поверхностей, десульфатизации доменного чугуна, обработки бокситов, а также в технологиях переработки золотоносных и урановых руд [2].

Нефтедобыча. В составе технологии ASP-заводнения (щелочь-ПАВ-полимер) сода снижает межфазное натяжение на границе вода–нефть, что повышает коэффициент нефтеотдачи пластов [3].

Целлюлозно-бумажная и текстильная промышленность. Na_2CO_3 способствует фиксации красителей, равномерности окрашивания тканей, удалению загрязнений и примесей с натурального сырья (хлопок, лён) [2].

2. Научноёмкие и «зелёные» технологии

Производство бумаги и композитов. Варка пшеничной соломы в натриево-карбонатном растворе обеспечивает выход волокна до 72 %, снижая энергозатраты и расход ресурсов. Обработка растительных волокон раствором Na_2CO_3 уменьшает их шероховатость, повышает модуль упругости и прочность композитов на основе эпоксидных и полиэфирных смол [8,9].

Щелочеактивированные вяжущие. Na_2CO_3 предлагается как менее агрессивный, дешёвый и экологичный активатор шлаков, способный заменить традиционные NaOH и Na_2SiO_3 при получении щелочеактивированных материалов с меньшим углеродным следом [8,9].

Особо чистые марки. Разработано производство высокочистого карбоната натрия для электронной промышленности и специальных сортов для фармацевтики [5].

Фармацевтика и здравоохранение. Na_2CO_3 применяется для регуляции pH при синтезе фармацевтических субстанций и в диагностических тестах для поддержания кислотно-основного равновесия в биологических образцах [6].

Пищевая промышленность. Зарегистрирован как пищевая добавка E500 (регулятор кислотности, разрыхлитель, антислеживатель). Используется в производстве мясных, молочных, кондитерских изделий, детского питания, безалкогольных напитков [2–4]. Регулирует кинетику желатинизации, вязкость и структуру крахмал-полисахаридных гелей, улучшая текстурные и реологические свойства продуктов (лапша, гели кукурузного крахмала) [15–17]. Разрабатываются гидрогели на основе Na_2CO_3 с самореактивным поглощением CO_2 при низких температурах для активной упаковки свежих продуктов [18].

3. Энергетика и аккумуляторы

Производство аккумуляторов. Карбонат натрия критически важен для переработки лития в гидроксид и карбонат лития – компоненты тяговых батарей электромобилей. Также применяется при утилизации отработанных литий-ионных аккумуляторов.

Солнечная энергетика. Используется для производства фотоэлектрического стекла для солнечных панелей, в том числе тонкоплёночных технологий (CIGS, CdTe).

4. Природоохранные технологии

Водоподготовка. Na_2CO_3 применяют для регулирования pH, удаления ионов жёсткости (Ca^{2+} , Mg^{2+}), а также в системах десульфуризации дымовых газов на угольных ТЭС [3,5]. Активация биоугля и шламов содой увеличивает площадь поверхности и количество функциональных групп, чтократно повышает адсорбцию органических загрязнителей из сточных вод [14].

Улавливание CO_2 . Разрабатываются технологии прямого улавливания углерода из воздуха (DAC) с использованием растворов карбоната натрия. Na_2CO_3 и модифицированные системы (наноструктуры, пенообразователи, гидрогели) повышают эффективность абсорбции CO_2 : увеличение ёмкости до 30 %, степень очистки 99-100 % при меньших энергозатратах и коррозионной активности по сравнению с аминами [10–12]. Обзор карбонизационных процессов с участием натрия подчёркивает потенциал системы $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{NaHCO}_3$ в экологически устойчивых технологиях CCU (улавливание, утилизация CO_2) и актуальность оптимизации кинетики и чистоты продукта [13].

Переработка отходов. Показана возможность получения наноструктурированного Na_2CO_3 из щелочных отходов керамической промышленности и дымовых газов с высоким содержанием CO_2 . Такой мелкодисперсный карбонат натрия обеспечивает более высокую интенсивность окраски тканей по сравнению с товарным [14].

5. Технологические тренды

Производители внедряют экологически чистые технологии («зелёная химия»), автоматизацию и цифровые системы контроля качества для повышения эффективности и соответствия нормативным требованиям [7].

Заключение

Карбонат натрия остаётся востребованным веществом, играющим ключевую роль в традиционных и новых отраслях промышленности. Его актуальность сохраняется благодаря стабильному спросу в классических секторах (стекло, химия, металлургия) и расширению применения в «зелёных» технологиях: щелочеактивированные вяжущие, улавливание CO_2 , адсорбционная очистка воды, переработка отходов, а также модернизация пищевых и текстильных производств.

Список литературы

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/Карбонат_натрия
2. <https://nvph.ru/kalczinirovannaya-soda>
3. <https://marketing.rbc.ru/research/53150/>
4. <https://indexbox.ru/reports/basic-chemicals-sodium-carbonate--world>
5. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030147971930X>
6. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123024007916>
7. <https://puhk.info/blog/polezno/karbonat-natriya-svoystva-i-primenenie/>

8. <https://nvph.ru/kalczinirovannaya-soda>
9. <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/1/162>
10. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jpcb.5c05381>
11. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014181301930781>
12. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X18312797>
13. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21650373.2024.2405003>
14. <https://www.marketresearchintellect.com/ru/blog/sodium-carbonate-market-a-key-player-in-pharma-innovations-and-healthcare-solutions/>
15. <https://www.verifiedmarketreports.com/ru/product/industrial-sodium-carbonate-market/>
16. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/star.70066>
17. https://ru.wikipedia.org/wiki/Карбонат_натрия

© Порошина Е.В., Каримова Э.Р., 2026

УДК 577

АККУМУЛЯЦИЯ ФЛАВОНОИДОВ В КРЕСС-САЛАТЕ
(*Lepidium sativum* L.) В ОТВЕТ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ СОЛЕЙ
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Рукниддинов И.Ф., Куксо П.А.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами представляет серьезную экологическую проблему, поскольку их накопление в почвах и водных экосистемах приводит к нарушению физиологических процессов растений [1]. Одним из механизмов адаптации растений к стрессовым воздействиям является синтез флавоноидов, обладающих антиоксидантными свойствами.

Целью работы являлось изучение влияния тяжелых металлов на накопление флавоноидов в растениях кресс-салата (*Lepidium sativum* L.) и оценка действия гуминового препарата в условиях стрессового воздействия.

В качестве объекта исследования использовали 10-суточные проростки. Было сформировано 7 групп: 3 группы с добавлением в среду свинца (Pb), меди (Cu), цинка (Zn) и 3 группы с добавлением металлов с гуминового препарата (ГУМИ): Pb+ГУМИ, Cu+ ГУМИ, Zn+ ГУМИ и одна группа контроль (на воде)

Растения кресс-салата выращивали в условиях водной культуры. Содержание флавоноидов определяли спектрофотометрическим методом с использованием рутина в качестве стандарта.

Установлено, что все исследуемые тяжелые металлы вызывали увеличение содержания флавоноидов по сравнению с контролем. В контрольной группе содержание флавоноидов составляло 8,7 мг/г сухой массы. Максимальный эффект наблюдался при действии кадмия — 18,7 мг/г (+114,9 %). Под влиянием Pb содержание флавоноидов увеличивалось

до 17,0 мг/г (+95,4 %), Cu — до 14,1 мг/г (+62,1 %), Zn — до 12,4 мг/г (+42,5 %). Использование гуминового препарата дополнительно усиливало накопление флавоноидов. Наибольшее содержание зарегистрировано в группе Cd + ГУМИ — 22,8 мг/г сухой массы (+162,1 % по сравнению с контролем).

Полученные результаты свидетельствуют о важной роли флавоноидов в адаптации кресс-салата к воздействию тяжелых металлов. Гуминовый препарат усиливает защитные реакции растений.

Список литературы

1. Badiaa O., Yssaad H. A. R., Topcuoglu B. Effect of heavy metals (copper and zinc) on proline, polyphenols and flavonoids content of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Plant Archives. 2020. V. 20, No. 1: 2125-2137.

© Рукниддинов И.Ф., Куксо П.А., 2026

УДК 632.952

СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ПОВЕРХНОСТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ НАНОКОМПОЗИТНЫХ СИСТЕМ СЕРА/КАРБОНАТЫ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

Самсонов М.Р.¹, Фаздалова И.Р.¹, Ишумбаева О.Д.¹, Ильина М.Г.²

¹Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

²Установка синхротронного излучения – Сибирский кольцевой источник фотонов «СКФ» Института катализа им. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук, Кольцово, Россия

Верификация фазового состава и морфологических параметров нанодисперсий является необходимым условием для установления взаимосвязи «структура–свойства». В наноразмерном режиме поверхностные эффекты доминируют над объёмными, что делает управление смачиваемостью и кристаллическим совершенством ключевым инструментом функционализации материалов. Настоящая работа посвящена комбинированной дифракционно-спектроскопической идентификации синтезированных нанокomпозитов и количественной оценке механизмов их поверхностной модификации.

Рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре Rigaku Ultima IV (Cu K α -излучение, $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$) в угловом диапазоне $2\theta = 10\text{--}80^\circ$ с шагом $0,02^\circ$. ИК-Фурье-спектры регистрировали на спектрометре Vector 22 (Bruker) в диапазоне $400\text{--}4000 \text{ см}^{-1}$ методом пропускания в таблетках KBr (соотношение 1:100). АСМ-исследования выполняли на микроскопе Solver PRO-M в контактном режиме. Гидрофобные свойства оценивали методом измерения статического краевого угла смачивания на поверхности уплотнённых порошков (давление прессования 5 МПа). Каплю деионизованной воды (5 мкл) наносили микрошприцем, изображение

фиксируют горизонтальным оптическим микроскопом, угол рассчитывали программно с погрешностью $\pm 3^\circ$ при $23 \pm 1^\circ\text{C}$ [1-3].

Дифрактограммы изолированной наносеры демонстрируют чёткую картину, полностью соответствующую орторомбической модификации $\alpha\text{-S}_8$. Сравнение с эталонными паттернами микросеры выявляет совпадение положений основных рефлексов, однако для наноразмерных образцов наблюдается сужение пиков на 12–15 %, что указывает на повышенную структурную упорядоченность и снижение концентрации точечных дефектов, характерных для промышленных смачивающихся порошков [1]. Аналогичная картина характерна для карбонатных компонентов: дифракционные профили CaCO_3 идентифицируются как кальцит (пространственная группа R-3c), BaCO_3 – как витерит (Pmcn), а SrCO_3 – как стронцианит (Pmcn). Все три фазы относятся к термодинамически устойчивым полиморфам, что подтверждает отсутствие метастабильных промежуточных стадий при барботаже CO_2 [2,3].

ИК-Фурье-спектроскопия дополнительно верифицирует структурную идентичность. В спектрах наночастиц регистрируются характерные колебательные моды карбонат-иона (CO_3^{2-}). Для CaCO_3 фиксируются асимметричные деформационные колебания при $\approx 704\text{ см}^{-1}$, симметричные при 873 см^{-1} и валентные C–O вблизи 1421 см^{-1} . Спектры BaCO_3 и SrCO_3 демонстрируют сдвиг полос в область $701\text{--}704\text{ см}^{-1}$ и $1463\text{--}1470\text{ см}^{-1}$, что согласуется с арагонитоподобной координацией ионов щелочноземельных металлов [36, 58–60]. Классическое понимание гидрофильности кальцита контрастирует с экспериментальными данными: нанокarbonат демонстрирует краевой угол $147^\circ \pm 3^\circ$, чистая наносера – $140^\circ \pm 3^\circ$, а композит S/ CaCO_3 – $133^\circ \pm 3^\circ$. Механизм инверсии смачиваемости объясняется специфической адсорбцией неанола: гидрофильные полиэтиленгликолевые фрагменты взаимодействуют с полярными центрами неорганического ядра, тогда как гидрофобные алкильные цепи формируют мономолекулярный экран, снижающий поверхностную энергию и препятствующий коагуляции [7,8].

Комплексное исследование подтвердило, что наноразмерные фазы серы и карбонатов щелочноземельных металлов сохраняют кристаллическую структуру, идентичную макроскопическим аналогам. Наноструктурирование сопровождается улучшением структурного совершенства серы и формированием устойчивых полиморфных модификаций карбонатов. Сочетание РФА, ИК-спектроскопии и гониометрии обеспечивает надёжную верификацию фазового состава и поверхностных характеристик, что необходимо для стандартизации синтеза функциональных нанокомпозитов [1-4,6].

Список литературы

1. Уракаев Ф.Х., Булавченко А.И., Уралбеков Б.М. и др. Наноразмерная сера: методы синтеза и биологическая активность // Коллоид. журн. 2016. Т. 78. № 2. С. 193–201.
2. Wang Y.-W., Kim Y.-Y., Stephens C.J. et al. Polymorphism of CaCO_3 : nucleation and stabilization // Cryst Growth Des. 2012. V. 12. P. 1212–1220.
3. Antao S.M., Hassan I. Crystal structure of witherite (BaCO_3) // Can. Miner. 2009. V. 47. P. 1245–1256.
4. Sreedhar B., Satya Vani Ch., Keerthi Devi D. et al. Structural characterization of strontianite and witherite // Am. J. Mater. Sci. 2012. V. 2. P. 5–11.
5. Farmer V.C. Infrared Spectra of Minerals. London: Mineral. Soc., 1977. 539 с.
6. Dadkhah M., Salavati-Niasari M., Mir N. FTIR analysis of nano- CaCO_3 polymorphs // J. Nanostruct. 2012. V. 1. P. 153–159.
7. Sreedhar B., Sulochana M., Satya Vani Ch. et al. Vibrational spectroscopy of alkaline earth carbonates // Eur. Chem. Bull. 2014. V. 3. P. 234–241.
8. Hornyak G.L., Dutta J., Tibbals H.F., Rao A.K. Introduction to Nanoscience. Boca Raton: CRC Press, 2008. 412 с.

© Самсонов М.Р., Фаздалова И.Р., Ишумбаева О.Д.,
Ильина М.Г., 2026

УДК 632.952

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И АГРОХИМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАНОДИСПЕРСИЙ СЕРЫ И ПОЛИСУЛЬФИДА КАЛЬЦИЯ В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ И СТИМУЛЯЦИИ РОСТА КУЛЬТУР

Самсонов М.Р., Фаздалова И.Р., Файзрахманов И.С., Насретдинов Д.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

В условиях ужесточения экологических стандартов и развития принципов органического земледелия возрастает потребность в препаратах, сочетающих высокую биологическую эффективность с минимальной антропогенной нагрузкой на почвенные экосистемы. Полисульфид кальция (известково-серный отвар) и наноразмерная сера исторически применяются в растениеводстве как контактные фунгициды и акарициды, однако традиционные формы характеризуются высокими дозировками, низкой биодоступностью и риском фитотоксичности [1,2]. Настоящее исследование направлено на комплексную оценку *in vitro* и полевой эффективности нанодисперсий серы и нанокомпозитов S/CaCO_3 в отношении фитопатогенных микроорганизмов, а также на оптимизацию схем применения полисульфида кальция для защиты томата и винограда от

комплекса грибных заболеваний с учётом фенологии культур и динамики инфекционного процесса.

Материалы и методы. Фунгицидную активность определяли методом минимальной ингибирующей концентрации (МИК) на твёрдой питательной среде Сабуро в отношении штаммов *Alternaria alternata* и *Aspergillus niger*. Рабочие суспензии наносеры и нанокомпозита S/CaCO₃ готовили диспергированием в 96 % этаноле с последующим внесением в агар (диапазон 1–500 мг/мл). Биостимулирующий эффект оценивали при проращивании семян пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в водных дисперсиях с добавлением 8 мл/л глицерина; линейные параметры побегов и корней фиксировали через 72 ч (выборка n=150, ошибка 3–4 %). Полевые испытания проводили в 2016–2017 гг. на томате (сорт Андромеда F₁) и винограде (сорт Юбилейный) методом рендомизированных блоков в четырёх повторностях. Оценивали схемы: предпосадочная обработка лунок (5 %, 30 л/га), вегетационные опрыскивания (2 %) и «искореняющее» весеннее опрыскивание (10 % до распускания почек). Учёт поражения проводили визуально по 5-балльной шкале с расчётом распространённости и индекса развития болезни. Статистическую обработку осуществляли методом дисперсионного анализа ($p < 0,05$).

Результаты и обсуждение. В исследованиях *in vitro* установлено, что полная ингибция мицелиального роста обоих тест-штаммов достигается при концентрации наносеры 20 мг/мл. Нанокомпозит S/CaCO₃ демонстрирует идентичную эффективность при той же концентрации серной фазы, что однозначно свидетельствует о ведущей роли наносеры в реализации антигрибкового эффекта, тогда как карбонат кальция выступает в роли инертного структурного матрикса, не влияющего на метаболизм фитопатогенов. Для сравнения, традиционные смачивающиеся порошки на основе микронной серы (~20 мкм) обеспечивают полное подавление роста только при концентрации 250 мг/мл, что подтверждает 12,5-кратное преимущество нанодисперсий по критерию биологической эффективности [3,4]. Механизм усиления фунгицидного действия связан с генерацией активных форм кислорода (АФК) в приклеточной зоне, ингибированием ферментативных систем, ответственных за синтез эргостерола и хитина, а также физическим нарушением целостности мембран за счёт наноразмерного проникновения через поры клеточной стенки [5, 6].

Биостимулирующие испытания на пшенице продемонстрировали дозозависимый характер физиологического отклика. Нанокarbonат кальция самостоятельно увеличивает длину побегов лишь на 7%, наносера – на 25 %, тогда как нанокомпозит S/CaCO₃ при концентрации 25 мг/л с добавлением глицерина обеспечивает максимальный эффект: прирост побегов 55 %, корней 45 % относительно контроля. Синергетический эффект обусловлен совместным действием серы, стимулирующей биосинтез серосодержащих аминокислот и фитогормонов, и карбоната, обеспечивающего буферную стабилизацию pH ризосферы. Глицерин

модифицирует поверхностное натяжение водной дисперсии, облегчая смачивание семенной оболочки и проникновение наночастиц через апопластические пути к меристематическим тканям, усиливая осмотический градиент, необходимый для активации гидролаз [7, 8]. Микронные аналоги при аналогичных дозировках не проявляют стимулирующих свойств, а при превышении концентрации индуцируют осмотический стресс, что подчёркивает критическую роль наноразмерности для биодоступности [9].

Полевые испытания подтвердили высокую агрономическую эффективность оптимизированных схем применения. На томате комбинация предпосадочной обработки лунок 5 % раствором полисульфида кальция и двукратного вегетационного опрыскивания 2 % раствором (до цветения и в фазу завязывания) обеспечила полное подавление развития серой и корневой гнилей (0% поражения), а также снизила частоту проявления вершинной гнили плодов на 60–75 % благодаря нормализации кальциевого питания и укреплению клеточных стенок [10, 11]. На винограде применение «искореняющего» опрыскивания 10 % раствором ранней весной в сочетании с двумя вегетационными обработками 2 % раствором (до цветения и после появления ягод) снизило комплексное поражение оидиумом и милдью до <1 %, что соответствует биологической эффективности ≥ 97 % [12, 13]. Важно отметить, что сера выступает не только контактным фунгицидом, но и макроэлементом питания, стимулирующим синтез фитоалексинов и антиоксидантных ферментов, что повышает системную резистентность растений к биотическим и абиотическим стрессорам [14].

С агроэкологической точки зрения полисульфид кальция характеризуется низкой персистентностью, отсутствием кумулятивного эффекта и безопасностью для полезной энтомофауны, что полностью соответствует принципам интегрированной защиты растений и требованиям ГОСТ 33980-2016 для органического производства. Разработанные принципы дифференцированного применения включают ротацию концентраций в зависимости от инфекционного давления, сочетание почвенных и листовых обработок для воздействия на разные стадии онтогенеза патогенов, а также интеграцию с агротехническими приёмами для синергетического эффекта без риска антагонизма компонентов [15].

Заключение. Комплексное исследование подтвердило высокую эффективность наноструктурированных форм серы и полисульфида кальция как многофункциональных агрохимикатов нового поколения. Установлено, что наносера превосходит микронные аналоги в 12,5 раз по критерию минимальной ингибирующей концентрации, а комбинация с карбонатом кальция и глицерином демонстрирует выраженный синергетический фитостимулирующий эффект. Полевые испытания на томате и винограде обосновали научно-агротехнические схемы

применения: предпосадочная обработка почвы 5 % раствором в сочетании с вегетационными опрыскиваниями 2 % для овощных культур и «искореняющее» весеннее опрыскивание 10 % с последующими вегетационными обработками для виноградников. Данные подходы обеспечивают биологическую эффективность ≥ 95 %, позволяют полностью контролировать развитие грибных заболеваний и повышать урожайность без применения синтетических пестицидов. Полученные результаты расширяют фундаментальные основы применения серосодержащих наноматериалов в органическом земледелии и создают технологическую базу для разработки экологически безопасных препаратов, сочетающих фунгицидную защиту, биоактивацию и минеральное питание растений [16].

Список литературы

1. Массалимов И.А., Гайфуллин Р.Р. Удобрение, содержащее высокодисперсную серу, и способ обработки ею пшеницы: заявка на евразийский патент № 2016000028 от 15.04.2016.
2. Продукция органического производства. Правила производства, хранения, транспортирования: ГОСТ 33980-2016. М.: Стандартинформ, 2015. 79 с.
3. Массалимов И.А., Давлетов Р.Д., Гайфуллин Р.Р. и др. Наноразмерная сера – эффективный фунгицид и стимулятор роста пшеницы // Вестник защиты растений. 2013. № 4. С. 61–63.
4. Massalimov I.A., Medvedev Y., Urakaev F. et al. Bioactivity of sulfur nanoparticles in agricultural applications // American-Eurasian J. Agricult. Environ. Sci. 2016. V. 16. P. 652–658.
5. Мельников Н.Н. Пестициды. Химия, технология и применение. М.: Химия, 1987. 640 с.
6. Кашкин П.Н., Лисин В.В. Практическое руководство по медицинской микологии. Л.: Медицина, 1983. 312 с.
7. Yugandhar P., Savithramma N. Effect of nanoparticles on seed germination // Int. J. Adv. Res. 2013. V. 1. P. 89–95.
8. Massalimov I.A., Zaynitdinova R.M., Shaynurova A.R. et al. Efficacy of colloidal sulfur against phytopathogens // Int. J. Sci. 2013. V. 2. P. 25–31.
9. ТУ 113-04-327-90. Сера 80% смачивающийся порошок. М.: Минхимпром, 1990.
10. Массалимов И.А., Ярмухаметова И.А., Ахметшин Б.С., Самсонов М.Р. Фунгицидные свойства полисульфида кальция // Защита и карантин растений. 2018. № 12. С. 27–28.
11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
12. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве. СПб., 2009. 378 с.

13. Корнейчук Н.С. Грибные болезни люпинов. Монография. Киев, 2010. 374 с.

14. Массалимов И.А., Хусаинов А.Н., Зайнитдинова Р.М. и др. Получение и свойства коллоидной серы из полисульфидных систем // Журн. прикл. химии. 2014. Т. 87. № 5. С. 705–712.

15. Пимохова Л.И., Царапнева Ж.В. Антракноз – коварное заболевание люпина белого и эффективные средства борьбы с ним // Сб. матер. Межд. конф. Большие Вяземы, 2017. С. 204–216.

16. Яговенко Л.Л., Яговенко Г.Л. Особенности влияния способов использования люпина на плодородие почвы и продуктивность севооборота // Сб. матер. Межд. науч.-практ. конф. Брянск, 2012. С. 16–23.

© Самсонов М.Р., Фаздалова И.Р., Файзрахманов И.С.,
Насретдинов Д.Р., 2026

УДК 54.057:546.571-36:502.174.3

КОБАЛЬТ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: СТРАТЕГИЧЕСКИЙ МЕТАЛЛ XXI ВЕКА

Светачева П.А., Мухамедзянова А.А.

Уфимский университет науки и технологии, Уфа, Россия

Кобальт занимает особое место среди стратегических металлов XXI века благодаря уникальным физико-химическим свойствам. Его ферромагнетизм, высокая коррозионная стойкость и способность формировать стабильные комплексные соединения определяют широкое применение в промышленности [1].

В современной экономике кобальт является ключевым компонентом при производстве высокопрочных сплавов, литий-ионных аккумуляторов, медицинских изотопов и катализаторов. Особое значение приобретает его роль в развитии электротранспорта и систем накопления энергии, что делает его важнейшим материалом для реализации концепции зеленой энергетики.

Значительным потенциалом обладает использование кобальта в производстве супермагнитов для ветрогенераторов и других элементов альтернативной энергетики. Современные исследования направлены на разработку новых сплавов и соединений с улучшенными характеристиками, что открывает дополнительные возможности применения этого металла [2].

Особое внимание уделяется вопросам устойчивого развития и экологической безопасности при добыче и переработке кобальта. Внедрение инновационных технологий позволяет минимизировать негативное воздействие на окружающую среду и оптимизировать производственные процессы [3, 4].

Список литературы

1. Сидоров А.А. Стратегические металлы в современной промышленности. М.: Металлургия, 2026. 198 с.
2. Васильев П.П. Кобальт и его соединения. СПб.: Химический мир, 2025. 215 с.
3. Иванов И.И. Перспективы использования кобальта в зеленой энергетике. М.: Наука, 2026. 167 с.
4. Петров С.С. Экологические аспекты добычи кобальта. М.: Экология, 2026. 145 с.

© Светачева П.А., Мухамедзянова А.А., 2026

УДК 547.9+615.3

РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОНЬЮГАТОВ УРСОЛОВОЙ, ОЛЕАНОЛОВОЙ, БЕТУЛИНОВОЙ И 18 β -ГЛИЦИРРЕТИНОВОЙ КИСЛОТ И N-АЦЕТИЛ-D-ГАЛАКТОЗАМИНА ДЛЯ НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ НА ГЕПАТОЦИТЫ

Селезнев Е.И.¹, Зык Н.В.¹, Белоглазкина Е.К.¹, Казакова О.Б.²,
Ямансаров Э.Ю.³

¹*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г.
Москва, Россия*

²*Уфимский институт химии УФИЦ РАН, Уфа, Россия*

³*Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия*

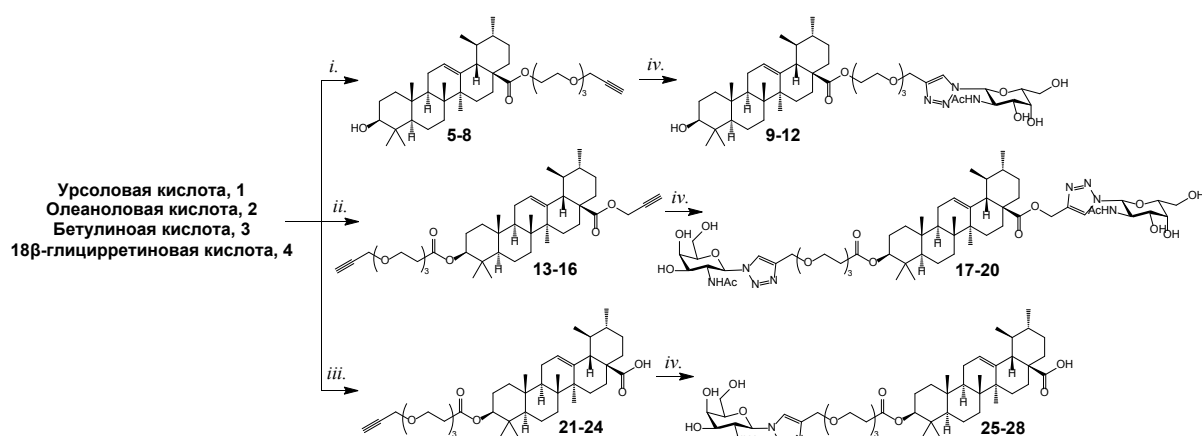
Разработка новых соединений с противоопухолевыми свойствами является важным и актуальным направлением медицинской химии в связи с высоким уровнем заболеваемости раком печени, достигающим 850 тыс. случаев в год [1]. В качестве перспективных агентов с цитотоксической активностью часто рассматривают пентациклические тритерпеноиды и их производные, т.к. они обладают выраженной противоопухолевой активностью [2,3]. Несмотря на это, получаемые производные не могут эффективно использоваться в терапии из-за недостатков в виде низкой биодоступности и плохой водной растворимости.

Для исправления данных недостатков нами вводились более гидрофильные триэтиленгликолевые линкеры в структуру конъюгатов для связи тритерпеноидов **1-4** с лигандом к асиалогликопротеиновому рецептору (ASGPR) *N*-ацетил-D-галактозамином. В нашей работе важным способом модификации природных молекул является региоселективное [3+2]-азид-алкиновое циклоприсоединение, дающее хорошие выходы целевых соединений. С этой целью в структуру лиганда вводили азидогруппу [4], в то время как линкеры содержали терминальную тройную связь, например, алкин-ПЭГ₃-ОН и алкин-ПЭГ₃-I.

Таким образом, нами были синтезированы три серии конъюгатов тритерпеновых кислот с триэтиленгликолевыми линкерами. В качестве

первой серии получали производные тритерпеноидов **9-12**, используя алкилирование карбоксильного положения линкером алкин-ПЭГ₃-I с последующим [3+2]-азид-алкиновым циклоприсоединением лиганда. В качестве второй серии были получены производные тритерпеновых кислот **17-20** с замещенными гидроксильной и карбоксильной группами с использованием карбодиимидного метода и двух направляющих лигандов. Завершающей серией стали производные **25-28** с замещенным гидроксильной группой, полученные с использованием соответствующих хлорангидридов.

На втором этапе работы была измерена аффинность полученных соединений к ASGPR и обнаружено, что синтезированные амфифильные гликоконъюгаты демонстрируют хорошие константы связывания (K_D) в диапазоне значений от 0.5 до 10.32 нмоль/л.



Условия и реагенты: *i.* Алкин-ПЭГ₃-I, K₂CO₃, ДМФА, 20°C, 2 ч; *ii.* а) HC≡C-CH₂Br, K₂CO₃, ДМФА, 20°C, 2 ч; б) Алкин-ПЭГ₄-COCl, EDC-Cl, DMAP, DIPEA, 72 ч, 20°C; *iii.* 1) Оксалилхлорид, ДМФА, CH₂Cl₂, 2 ч, 20°C; 2) DMAP, Пиридин, 110°C, 16 ч; *iv.* CuSO₄·5H₂O, Et₃N, ДМФА, аскорбат натрия, 1-Азидо-2-ацетидамо-2-дезоксид-β-D-галактопираноза.

В настоящее время изучается цитотоксическая активность ASGPR-направленных конъюгатов тритерпеноидов и N-ацетил-D-галактозамина против клеточных линий HepG2, Huh7, PC-3 и HEK293, что позволит оценить перспективность их применения для терапии онкологических заболеваний.

Список литературы

1. Globocan 2022 (version 1.1) - 08.02.2024; IARC - <https://gco.iarc.who.int>.
2. G. D. Kim, "Ursolic Acid Decreases the Proliferation of MCF-7 Cell-Derived Breast Cancer Stem-Like Cells by Modulating the ERK and PI3K/AKT Signaling Pathways," *Prev. Nutr. Food Sci.*, vol. 26, no. 4, pp. 434–444, Dec. 2021, doi: 10.3746/pnf.2021.26.4.434.

3. N. A. Dangroo *et al.*, “A convergent synthesis of novel alkyne–azide cycloaddition congeners of betulinic acid as potent cytotoxic agent,” *Steroids*, vol. 123, pp. 1–12, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.steroids.2017.04.002.

4. S. B. Salunke, N. S. Babu, and C.-T. Chen, “Iron(iii) chloride as an efficient catalyst for stereoselective synthesis of glycosyl azides and a cocatalyst with Cu(0) for the subsequent click chemistry,” *Chem. Commun.*, vol. 47, no. 37, p. 10440, 2011, doi: 10.1039/c1cc13370e.

© Селезнев Е.И., Зык Н.В., Белоглазкина Е.К., Казакова О.Б.,
Ямансаров Э.Ю., 2026

УДК 547.824:542.91:548.737

СИНТЕЗ И ОЦЕНКА ПРОТИВОГРИППОЗНОЙ АКТИВНОСТИ АМИДНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ 3-СПИРО-1,2,4-ТРИОКСОЛАНО- ЛИТОХОЛЕВОЙ КИСЛОТЫ

Смирнова И.Е.¹, Закирова Л.М.¹, Волобуева А.С.², Казакова О.Б.¹

¹Уфимский Институт химии УФИЦ РАН, Уфа, Россия,

²Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт
эпидемиологии и микробиологии имени Пастера, Санкт-Петербург, Россия

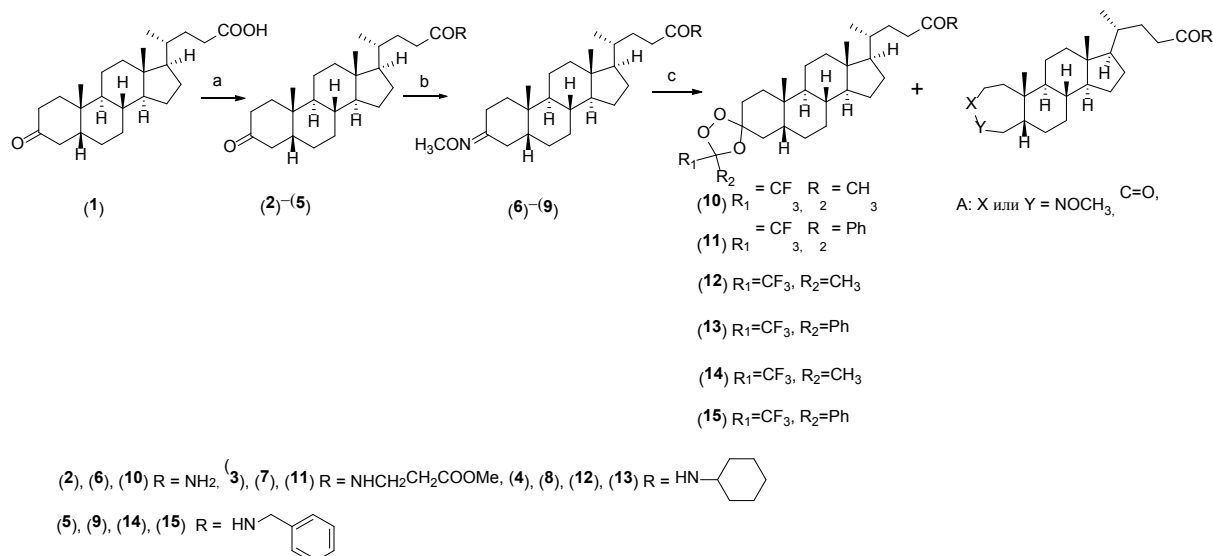
Холевые кислоты, продуцируемые организмом человека как ключевые компоненты желчного секрета, находятся в фокусе внимания химиков, биохимиков и фармакологов. Среди ведущих направлений и разработок можно отметить синтез производных урсодезоксихолевой кислоты, применяемых в терапии холестатических заболеваний и обладающих гепатопротекторным и иммуностимулирующим действием [1].

Известна модификация холевых кислот по положению С3 путем введения спиро-пероксо-фрагментов, например, 1,2,3,4-тетраоксановых [2], а также 1,2,4-триоксановых [3], для которых выявлена антималярийная, антипролиферативная, антибактериальная [4] и др. типы активности. Перспективной и относительно новой группой пероксисодержащих стероидов выступают спиро-1,2,4-триоксоланы с фрагментами дезоксихолевой [5] и литохоловой [6] кислот, среди них найдены вещества с антималярийной и противовирусной активностью. Стероидные спиро-1,2,4-триоксоланы синтезированы с использованием реакции со-озонолиза О-метилоксимов холевых кислот в присутствии кетонов (метод Грисбаума [7]). Данный подход имеет ряд преимуществ, поскольку позволяет избежать стадию получения исходных олефинов, существенно повышается возможность варьирования структуры, формирование устойчивого 1,2,4-триоксоланового цикла осуществляется под действием озона, без использования катализаторов, содержащих соли тяжелых металлов и т.д.

Взаимодействием 3-оксо-литохоловой кислоты **1** хлорангидридным методом взаимодействием с аммиаком, метиловым эфиром β-аланина,

циклогексил- или бензиламином синтезированы амиды **2–5** с выходами 90–95% после хроматографической очистки (Схема). Реакция полученных 3-оксо-амидов **2–5** с метоксигидроксиламином в виде гидрохлорида в среде метанола и пиридина (1:1) при кипячении привела к *O*-метилкетоксима (**6–9**), выделенным в виде смеси двух *E/Z*-изомеров в эквимольном соотношении. Со-озонолиз *O*-метилкетоксимов **6–9** в присутствии трифторацетона или трифторфенилкетона при 0°C в среде смеси циклогексана и хлористого метилена (1:3) привел к образованию целевых 3-спиро-1,2,4-триоксоланов **10–15** в виде смесей 4-х стереоизомеров с выходами 65–70% после очистки методом колоночной хроматографии. Также в продуктах реакций ожидаемо присутствовали региоизомерные метоксилактамы типа А. Структура всех соединений подтверждена методами ЯМР спектроскопии.

Схема 1



Реагенты и условия а. $(COCl)_2$, CH_2Cl_2 , амин/метилловый эфир аминокислоты; **б.** $MeONH_2 \cdot HCl$, $MeOH-C_5H_5N$, 115°C; **с.** $CF_3(CO)CH_3$, O_3 , 0°C, $CH_2Cl_2-cyclo-C_6H_{12}$.

Цитотоксичность и противовирусные свойства производных изучали в культуре клеток MDCK, в качестве препаратов сравнения использовали карбоксилат осельтамивира и ремантадин.

Таблица 1. Противовирусная активность соединений (**2–5**) и (**10–15**) в отношении вируса гриппа A/Puerto Rico/8/34

Соединение	CC ₅₀ , μM^a	IC ₅₀ , μM^b	SI ^b
2	94.4±13.6	> 88.3	1
3	4.1±0.4	3.7±0.2	1
4	4.6±0.7	7.0±1.1	1
5	129.3±19.2	>71.2	2
10	77.1±10.8	>65.8	1

11	30.2±2.5	>16.9	2
12	>514.2	67.2±12.2	8
13	464.8	12.5±1.4	37
14	337.4±43.6	32.3±3.6	11
15	53.4±9.6	>50.5	1
Карбоксилат осельтамивира	>200	0.3±0.01	>667

^aCC₅₀-50% цитотоксической концентрации; ^bIC₅₀-50% ингибирующей концентрации; ^cSI - Индекс селективности определяется как: SI=CC₅₀/IC₅₀. Выделенные жирным значения обозначают лучшие результаты (SI значение 10 или выше).

In vitro скрининг в отношении вируса гриппа A/Puerto Rico/8/34 (H1N1) выявил соединения **13**, **14** с выраженным ингибирующим действием на вирусную репликацию *in vitro* при низкой цитотоксичности. Соединение **12** показало умеренную активность с индексом селективности (SI) = 8. Для циклогексиламида 3-спиро-1,2,4-триоксолано-литохолевой кислоты **13** определен IC₅₀ 12.5 µM и индекс селективности (SI) = 37.

Таким образом, среди амидов 3-спиро-1,2,4-триоксолано-литохолевой кислоты наиболее перспективным оказалось соединение **13**, содержащее циклогексиламидный фрагмент и фенильный/трифторметильный заместитель в триоксолановом кольце. Оно сочетает достаточно высокую ингибирующую активность и отсутствие токсичности в концентрациях до 464.8 µM, что обеспечило высокий индекс селективности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-23-00668, <https://rscf.ru/project/25-23-00668/>»

Список литературы

1. R. Barba Bernal, B. Ferrigno, E. Medina Morales et. al. Management of Primary Biliary Cholangitis: Current Treatment and Future Perspectives. J. Gastroenterol. 2023. 34(2). P. 89 - 100. DOI: 10.5152/tjg.2023.22239.
2. A. Floreani, D. Gabbia, S. De Martin. et. al. Update on the Pharmacological Treatment of Primary Biliary Cholangitis. Biomedicines. 2022. 10(8). P. 2033. DOI: 10.3390/biomedicines10082033.
3. B.A. Šolaja, N. Terzić, G. Pocsfalvi, L. Gerena, B. Tinant, D. Opsenica, W.K. Milhous, Mixed steroidal 1,2,4,5-tetraoxanes: antimalarial and antimycobacterial activity. J. Med. Chem. 2002. 45(16). P. 3331-3336, DOI: 10.1021/jm020891g.
4. C. Singh, M. Hassam, V.P. Verma et. al. Bile acid-based 1,2,4-trioxanes: synthesis and antimalarial assessment. J. Med. Chem. 2012. 55. P. 10662-10673, DOI: 10.1021/jm301323k.
5. D. Opsenica, D.E. Kyle, W.K. Milhous, B.A. Šolaja. A Stereospecific Synthesis and In Vitro Anti-Influenza H1N1 Properties of Lithocholic Acid-

Based Spiro-1,2,4-trioxolane. J. Serb. Chem. Soc. 2003. 68. P. 291-302. DOI: 10.2298/JSC0305291O.

6. E.Y. Yamansarov, D.V. Kazakov, N.I. Medvedeva et.al. Synthesis and antimalarial activity of 3'-trifluoromethylated 1,2,4-trioxolanes and 1,2,4,5-tetraoxane based on deoxycholic acid. Steroids. 2018. 129. P. 17–23. DOI: 10.1016/j.steroids.2017.11.008.

7. E.Y. Yamansarov, O.B. Kazakova, N.I. Medvedeva et. al. Synthesis and Transformations of A-Seco-Triterpenoids. Russ. J. Org. Chem. 2014. 50. P. 1043-1047. DOI: 10.1134/S1070428014070197

© Смирнова И.Е., Закирова Л.М., Волобуева А.С.,
Казакова О.Б., 2026

УДК 547.783

3-МЕТИЛ-4-НИТРО-1-ФЕНИЛ-1Н-ПИРАЗОЛ

Сунь Имин, Белоглазкина Е.К., Финько А.В.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия*

Пиразолы и их производные обладают широким спектром биологической активности, включая противоопухолевое, антибактериальное, антиоксидантное и противовоспалительное действие. [1] Пиразолы являются основной структурой многих биологически активных соединений и представляют собой важную мишень для синтеза в фармацевтической промышленности. Поэтому региоселективный синтез пиразолов является перспективным и сложным направлением.

4-Нитро-1-фенил-3-метил-1Н-пиразол является ключевым промежуточным продуктом в синтезе фармацевтических препаратов и пестицидов. Его традиционный синтез в основном базируется на стратегии позднего сочетания углерод-азот (C–N). Описанные к настоящему времени методы в качестве исходного сырья используют 4-нитро-3-метилпиразол, который связывают с бензольным фрагментом. Так, в литературе [2] описана реакция кросс-сочетания Чана-Лама с фенилбороновой кислотой, протекающая в присутствии ацетата меди при 120 °С в течение 48 часов. Другой подход, представленный в литературе [3], основан на классической реакции Ульмана с иодбензолом в присутствии иодида меди(I) и лиганда при 180 °С (время реакции — 4 часа), однако данный путь характеризуется низким выходом (всего 36%) (обе схемы представлены на Рис. 1). Несмотря на доступность сырья, эти методы сопряжены с использованием дорогостоящих катализаторов на основе тяжелых металлов, жесткими условиями проведения процесса, низкими выходами и трудностями удаления остаточных металлов, что делает их непригодными для крупномасштабного промышленного производства.

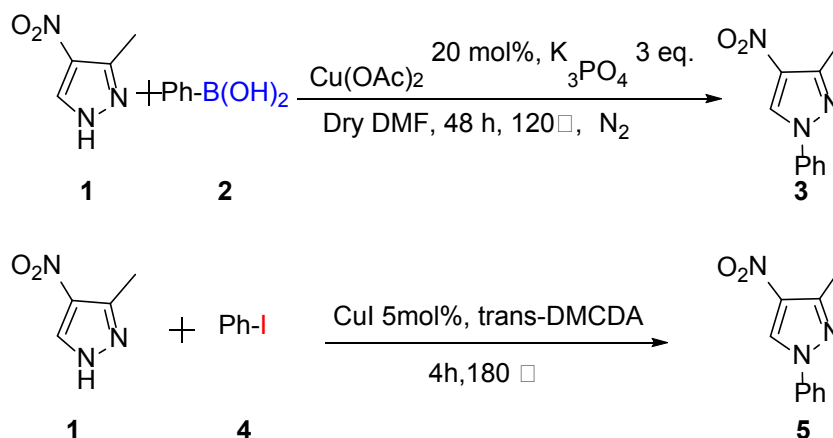


Рис 1. Литературные схемы синтеза целевого продукта через C–N сочетание (вверху: реакция Чана-Лама; внизу: реакция Ульмана).

Для исключения дорогих металлических катализаторов в литературе [4] был предложен альтернативный метод синтеза, основанный на прямой нуклеофильной атаке и последующей перегруппировке цикла при взаимодействии 3-метил-1,4-динитро-1H-пиразола с фенилгидразином (Рис. 2). Хотя данный способ не требует участия металлов, из-за наличия нескольких активных центров в молекуле исходного субстрата процесс рециклизации протекает неселективно. Это неизбежно приводит к образованию смеси структурных изомеров (содержащей 3-метил- и 5-метил-производные), а общий литературный выход составляет лишь 54%. Ввиду высокой схожести физико-химических свойств этих региоизомеров их последующее разделение и очистка чрезвычайно затруднены, что резко увеличивает технологические затраты и нагрузку на экологию. В связи с этим разработка безметаллового, экологически безопасного метода, протекающего в мягких условиях и позволяющего селективно получать целевой продукт в виде индивидуального изомера, имеет важное академическое и прикладное значение.

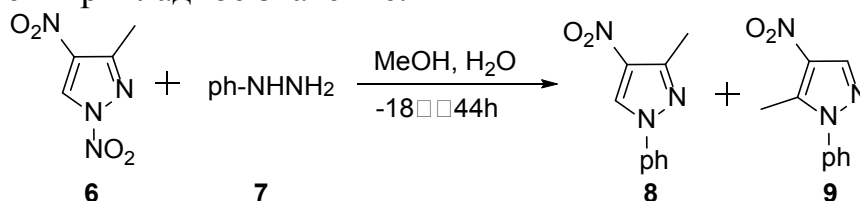


Рис 2. Литературная схема рециклизации динитропиразола с образованием смеси изомеров

Для преодоления ограничений существующих методов в данной работе разработан простой, высокоэффективный и региоселективный путь синтеза 4-нитро-1-фенил-3-метил-1H-пиразола (13). Метод основан на использовании доступных 4,4-диметокси-2-бутанона (10) и фенилгидразина (11) в качестве исходных веществ. На первом этапе в результате циклизации Кнорра, катализируемой серной кислотой в этаноле (EtOH), с отличным выходом (89%) направленно формируется 1-фенил-3-

метил-1Н-пиразол (12). Далее промежуточное соединение 12 подвергается селективному нитрованию нитратом калия (KNO₃) в среде уксусного ангидрида (Ac₂O), что позволяет напрямую получить целевой продукт 13 в виде индивидуального изомера с выходом 74% (Рис. 3).

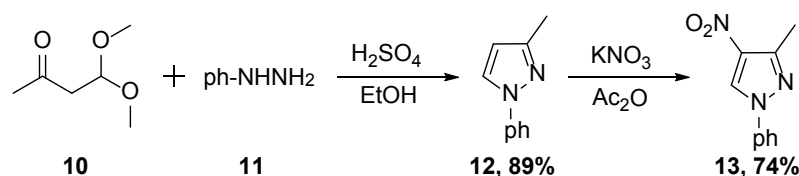


Рис 3. Региоселективный синтез 4-нитро-1-фенил-3-метил-1Н-пиразола **13**.

Предложенный процесс полностью исключает применение дорогостоящих переходных металлов и лигандов, протекает в мягких условиях и характеризуется высокой безопасностью. Данный двухстадийный интегрированный метод «циклизация–нитрование» успешно решает проблему сложного разделения структурных изомеров, открывая перспективный путь для низкостоймостного и экологически безопасного масштабирования производства ключевых пиразольных интермедиатов.

Список литературы

1. Ríos, M. C., Portilla, J. (2022). Recent advances in synthesis and properties of pyrazoles. *Chemistry*, 4(3), 940–968. doi:10.3390/chemistry4030065
2. Saha, R., Dutta, S., Das, A., Jana, R., Sonar, K., Gupta, S., Bhowmik, S. (2025). Copper-Catalyzed Chemoselective Synthesis of Pyrazolo-Sulfonamide: Impact of Solvent on Nitro-Pyrazole Reactivity. *Eur. J. Org. Chem.*, 28(3), e202401097. doi:10.1002/ejoc.202401097
3. De Vita, E., Schüler, P., Lovell, S., Lohbeck, J., Kullmann, S., Rabinovich, E., Sananes, A., Heßling, B., Hamon, V., Papo, N., Hess, J., Tate, E. W., Gunkel, N., Miller, A. K. (2018). Depsipeptides featuring a neutral P1 are potent inhibitors of kallikrein-related peptidase 6 with on-target cellular activity. *J. Med. Chem.*, 61(19), 8859–8874. doi: 10.1021/acs.jmedchem.8b01106
4. Jędrysiak, R. G., Suwiński, J. W. (2015). ANRORC reactions of 3-methyl-1,4-dinitro-1H-pyrazole with arylhydrazines. *Arkivoc*, 2015(7), 63–76. doi:10.3998/ark.5550190.p009.265

© Сунь Имин, Белоглазкина Е.К., Финько А.В., 2026

ХИРАЛЬНЫЕ СЕЛЕКТОРЫ НА ОСНОВЕ АМИНОКИСЛОТНЫХ КОМПЛЕКСОВ Cu(II) В СОСТАВЕ КОМПОЗИТНЫХ ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНЫХ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

Терес Ю.Б., Булышева Е.О., Воронова М.А.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Контроль энантиомерной чистоты лекарственных средств и биологически активных добавок является важной задачей аналитической химии, поскольку ~30% всех препаратов являются хиральными соединениями [1-2]. Для экспрессного решения этой задачи особый интерес представляют энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры (ЭС) с хиральными селекторами, обеспечивающими их энантиоселективность. Благодаря своим уникальным координационным свойствам комплексы переходных металлов с хиральными лигандами вызывают особый интерес как перспективные хиральные селекторы [3–10].

Нами разработаны ЭС на основе стеклоуглеродных электродов (СУЭ), модифицированных полиэлектролитным комплексом хитозана и N-сукцинил-хитозана (ПЭК) с включением хиральных аминокислотных комплексов Cu(II). Сенсор СУЭ/ПЭК-[Cu(L-Phe)₂] демонстрирует эффективную селективность к энантиомерам триптофана (Trp), тогда как сенсор СУЭ/ПЭК-[Cu(S-Ala)₂]-[Cu(S-Phe)₂] обеспечивает одновременное энантиораспознавание напроксена (Nap) и пропранолола (Prp). Для СУЭ/ПЭК-[Cu(L-Phe)₂] чувствительность к L-Trp оказалась выше, чем к D-Trp. Коэффициент энантиоселективности (i_{p1}/i_{p2}) составил 1.33, а разность потенциалов окисления (ΔE) – 39 мВ. Для сенсора с разнолигандным комплексом эти показатели для энантиомеров Nap составили 1.27 и 30 мВ, для Prp – 1.37 и 20 мВ. По концентрационным зависимостям были установлены аналитические характеристики разработанных сенсоров: линейные диапазоны определяемых концентрации и пределы обнаружения (LOD) (Таблица 1).

Таблица 1. Аналитические характеристики сенсоров

Сенсор	Аналит	Линейный диапазон, мкМ	LOD, мкМ
СУЭ/ПЭК-[Cu(L-Phe) ₂]	L-Trp	0.625–500	0.575
	D-Trp	5–500	0.734
СУЭ/ПЭК-[Cu(S-Ala) ₂]-[Cu(S-Phe) ₂]	S-Nap	50–1000	0.30
	R-Nap		0.38
	S-Prp	25-1000	0.90
	R-Prp		1.24

Разработанные сенсоры продемонстрировали свою работоспособность в условиях, приближенных к реальным: апробация на биологических жидкостях, рацемических и нестехиометрических смесях показала их пригодность для контроля качества фармацевтических препаратов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, грант № 23-23-00340

Список литературы

1. Майстренко, В. Н. Энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры / В. Н. Майстренко, Г. А. Евтюгин, Р. А. Зильберг. – Уфа: Башкирский государственный университет, 2018. – 189 с.
2. Майстренко, В. Н. Энантиоселективные сенсоры / В.Н. Майстренко, Г.А. Евтюгин. – Москва: Лаборатория знаний, 2023. – 262 с.
3. A chiral Ni(II) complex immobilized on Carboblack C as a readily available and effective enantioselective voltammetric sensor for recognition of atenolol enantiomers in real samples / R. A. Zilberg, Y. B. Teres, E. O. Bulysheva [et al.] // *Electrochimica Acta*. – 2025. – Vol. 529. – P. 146309. – DOI 10.1016/j.electacta.2025.146309.
4. Synthesis and Application of Chelate Complexes [Zn(L-arg)2(H2O)] and [[Zn(L-arg)2(H2O)](SO4)]2– as Chiral Selectors / R. R. Gizatov, Yu. B. Teres, M. N. Galimov [et al.] // *Russian Journal of Coordination Chemistry*. – 2025. – Vol. 51, No. 2. – P. 119-128. – DOI 10.1134/S1070328424601365.
5. Chiral Cobalt(III) Complexes Based on (1R,2R)-Cyclohexanediamine and 4-Bromo-5-methylsalicylaldehyde: Synthesis, Modification, and Application in Catalysis and Enantioselective Sensors / O. V. Khromova, A. F. Smol'yakov, R. A. Zil'berg [et al.] // *Russian Journal of Coordination Chemistry*. – 2025. – Vol. 51, No. 3. – P. 200-210. – DOI 10.1134/S1070328424601468.
6. Voltammetric sensor for naproxen enantiomers based on a paste electrode modified with a Chiral nickel(II) complex / R. A. Zilberg, Y. B. Teres, I. V. Vakulin [et al.] // *Chirality*. – 2025. – Vol. 37, No. 2. – P. e70025. – DOI 10.1002/chir.70025.
7. Chiral octahedral cobalt(III) complex immobilized on Carboblack C as a novel robust and readily available enantioselective voltammetric sensor for the recognition of tryptophan enantiomers in real samples / R. A. Zilberg, Ju. B. Teres, E. O. Bulysheva [et al.] // *Electrochimica Acta*. – 2024. – Vol. 492. – P. 144334. – DOI 10.1016/j.electacta.2024.144334.
8. Chiral selectors in voltammetric sensors based on mixed phenylalanine/alanine Cu(II) and Zn(II) complexes / R. A. Zilberg, T. V. Berestova, R. R. Gizatov [et al.] // *Inorganics*. – 2022. – Vol. 10, No. 8. – P. 117.
9. Энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры на основе аминокислотных комплексов Cu(II), Co(III), Zn(II) / Р. А. Зильберг, Л. Р. Загитова, И. В. Вакулин [и др.] // *Журнал аналитической химии*. – 2021. – Т. 76, № 12. – С. 1111-1122. – DOI 10.31857/S004445022112015X.

© Терес Ю.Б., Булышева Е.О., Воронова М.А., 2026

ПОЛУЧЕНИЕ ЛЮМИНОФОРНЫХ ПВХ-ФИЛАМЕНТОВ
ДЛЯ FDM 3D-ПЕЧАТИ

Тошев О.Х., Глазырин А.Б.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия.

В настоящее время активно развивается направление создания функциональных материалов для аддитивных технологий. Особый интерес представляют полимерные композиции, содержащие люминофоры, которые способны накапливать энергию светового излучения и проявлять послесвечение после прекращения воздействия источника света. Такие материалы могут использоваться для изготовления декоративных изделий, элементов маркировки, сувенирной продукции и изделий специального назначения методом FDM 3D-печати.

Целью исследований являлась разработка люминофорных композиций на основе пластифицированного поливинилхлорида и определение условий получения филаментов для технологии FDM 3D-печати.

В качестве полимерной основы использовали ПВХ марки С-63. В состав композиций вводили пластификатор и стабилизирующие добавки, использовали фотолюминофор марки ФВ-530Д. Получение филаментов осуществляли методом экструзии на лабораторном капиллярном вискозиметре ИИТР-АМ с последующей вытяжкой жгута.

Изучено влияние состава композиции и температуры переработки на показатель текучести расплава и качество поверхности экструдированных жгутов. Установлено, что увеличение содержания пластификатора от 30 до 80 масс. ч. 100 масс. ч. ПВХ приводит к повышению показателя текучести расплава и улучшению качества поверхности филамента. Показано, что введение люминофора ФВ-530Д в количестве 5 масс. ч. / 100 масс. ч. ПВХ не оказывает существенного влияния на текучесть расплава.

Установлено, что повышение температуры переработки способствует уменьшению коэффициента Барруса и стабилизации размеров экструдированного жгута. Для исследованных композиций определены оптимальные условия получения филаментов требуемого качества: температура переработки 190–196°C и нагрузка 52 Н. Экспериментально определены коэффициенты вытяжки филаментов после выхода из сопла экструдера (1,84–1,95), обеспечивающие получение филаментов диаметром 1,75 мм, пригодных для FDM 3D-печати.

Для полученных люминофорных филаментов определены физико-механические характеристики: твердость по Шору А - 92 ед., модуль упругости - 47 Н/мм², прочность при разрыве - 13 Н/мм², относительное удлинение при разрыве - 116 %.

Практически подтверждена возможность использования разработанных материалов в технологии FDM 3D-печати на стандартном

оборудовании. Полученные филаменты и изготовленные из них изделия сохраняют способность к люминесцентному послесвечению.

Список литературы

1. Миндигулов И.Г., Глазырин А.Б. Полимерные люминофорные материалы на основе пластифицированного поливинилхлорида // Материалы XI Международной молодежной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современного материаловедения». – Уфа: РИЦ УУНиТ, 2024. – С. 147–148.

2. Глазырин А.Б., Гильмияров Б.Р. Свойства ПВХ-композиций, содержащих люминофоры // Материалы IX Всероссийской научно-практической молодежной конференции с международным участием «Современные технологии композиционных материалов». – Уфа: РИЦ УУНиТ, 2024. – С. 52.

© Тошев О.Х., Глазырин А.Б., 2026

УДК 620.173.25

ИНТЕГРИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЕНОКЕРАМИКИ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Тухтаев О.Ш., Ахметшин Б.С., Ахметшина А.С.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Современная строительная отрасль переживает настоящий бум инноваций, и одним из самых горячих направлений стало создание материалов, которые умудряются сочетать, казалось бы, несочетаемое – легкость, отличные теплоизоляционные характеристики и при этом внушительную конструкционную прочность [1]. Если задуматься, именно такие материалы становятся настоящим спасением при возведении жилых комплексов и промышленных объектов, где требования к тепло- и звукоизоляции постоянно растут. Сегодня пальму первенства держат высокоэффективные пористые силикатные материалы – пеностекло, пенокерамика, различные ячеистые бетоны, но вот беда – на практике крайне сложно получить материал, который бы одновременно радовал и легкостью, и теплоизоляцией, и прочностью [2, 4]. Именно поэтому разработка эффективных технологий получения таких композитных материалов остается на повестке дня как одна из самых актуальных задач современной материаловедческой науки. Научный коллектив под руководством исследователей из Башкирского государственного университета предложил действительно интересное решение – энерго- и ресурсосберегающую технологию получения строительных пенокерамических материалов, которые как раз и отличаются тем самым желанным сочетанием легкости, малой теплопроводности и достаточной

прочности [1, 3]. Что особенно приятно в этом подходе, так это то, что производство пористых силикатных материалов по данной технологии характеризуется завидно малой материалоемкостью, да еще и позволяет использовать отходы промышленности и дешевые местные легкоплавкие глины, что в конечном счете делает производство экономически привлекательным [2, 4]. Представленная технология базируется на методе вспенивания в процессе обжига стеклокристаллической матрицы, при котором формируется ячеистая макроструктура неорганической пены, где практически все поры закрыты и не сообщаются между собой, что и обеспечивает отличные эксплуатационные характеристики [3].

Главным козырем этой технологии можно смело назвать возможность тонкой настройки поровой структуры – можно регулировать количество пор и их размер, сохраняя при этом неизменным тип пористости (закрытая ячеистая), просто изменяя среднюю плотность материала [1, 4]. Это открывает просто невероятные перспективы для получения материалов с заранее заданными свойствами под конкретные задачи строительства. Согласно разработанной технологии, в качестве сырья применяются вполне доступные компоненты: необработанный или предварительно обожженный при 1200 °С пиррофиллит месторождения

Куль-Юрт-Тау (Республика Башкортостан), глина месторождения Алексеевское (тоже Республика Башкортостан) и неорганические газообразующие добавки в виде карбида титана [2, 3]. Такой выбор сырья не случаен – пиррофиллит представляет собой гидратированный алюмосиликат с химической формулой $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, обладающий рядом уникальных свойств, включая высокую химическую инертность и отличные электроизоляционные характеристики [2, 4]. Разработанная технологическая линия для изготовления изделий из стеклокристаллической пенокерамики представляет собой хорошо отлаженный производственный процесс, где концентрат пиррофиллитового сырья сначала подвергается грубому сухому помолу в щековой дробилке до фракции 50–10 мм, а затем до фракции 10–0.5 мм [1, 3]. После этого на шаровых мельницах выполняется тонкий сухой и затем мокрый помол пиррофиллитового сырья до фракции 10 мкм, что требует около 48 часов [2, 4]. Параллельно подготавливается глина из месторождения Алексеевское, которая отличается сравнительно низкой стоимостью и температурой обжига, при которой происходит образование стеклофазы в матрице обжигаемого материала [1, 3]. Подготовленные компоненты шихты через дозаторы в определенном соотношении поступают на автоматическое смешивание, а одновременно из накопительной емкости через дозатор осуществляется подача добавки в виде газообразующего карбида титана в количестве 0.5 мас.% с дисперсностью 10–20 мкм [2, 4].

Гомогенная шихта указанного состава затем поступает на участок формовки полуфабрикатов изделий, где автоматически управляемое оборудование (прессы, экструдеры, сменная оснастка) обеспечивает

заполнение и уплотнение типовых форм, выполненных в виде керамических коробов [1, 3]. Подготовленные полуфабрикаты транспортируются сначала в устройство для сушки, а затем в туннельную газопламенную печь с рабочей температурой в средней части 1150 °С, после чего готовые изделия поступают на вход леера для отжига [2, 4]. Такая последовательность операций позволяет получить материал с действительно впечатляющими техническими характеристиками: предел прочности при сжатии составляет не менее 35 МПа, термостойкость при 200 °С – не менее 50 циклов, а температурный диапазон применения охватывает интервал от –45 до +60 °С [1, 3]. Пеноматериалы на основе стеклокристаллических композиций имеют плотность 350–600 кг/м³ и характеризуются низкой теплопроводностью 0.2–0.4 Вт/(м·К), что в сочетании с приведенной прочностью, более высокой, чем у кирпича марки 150, делает их исключительно привлекательными для строительства [2, 4]. Применение производимых по данной технологии материалов позволяет решить сразу несколько важных задач – снизить вес стеновых и технологических конструкций в несколько раз при одновременном увеличении их теплового сопротивления, уменьшить затраты на укладку блоков и расход цемента [1, 3]. Строительные и теплоизоляционные изделия могут быть изготовлены в виде прямоугольных блоков, пластин, призматических, цилиндрических или иных форм для строительства зданий и сооружений, а также для использования в качестве эффективной теплоизоляции теплотрасс [2, 4]. Разработанная линия позволяет создать целый ряд высокопроизводительных технологий для изготовления серии теплоизоляционных и строительных изделий различного назначения с высокими характеристиками по прочности, плотности, водонепроницаемости, теплопроводности и морозостойкости [1, 3]. Что особенно важно, в новой технологии возможно использование не только пиррофиллита, но и других видов дешевого местного сырья (перлитов, цеолитов, базальтов), а также отходов промышленности (стеклобоя, вскрышных пород, отходов шлифовки стеклоизделий, шлаков), что обеспечивает решение важных проблем энерго- и ресурсосбережения при массовом производстве строительных материалов [2, 4].

Таким образом, можно с уверенностью сказать, что разработанная технология изготовления теплоизоляционных и строительных изделий различного назначения из стеклокристаллической пенокерамики представляет собой действительно перспективное направление в современном строительном материаловедении [1, 3]. Система комплексного производства строительных материалов и изделий на основе предложенной технологической линии может найти широкое применение на местных предприятиях по изготовлению конструктивных и теплоизоляционных изделий для строительства сооружений гражданского и промышленного назначения [2, 4]. Созданные строительные пенокерамические блоки обладают высокими качественными показателями

по плотности, прочности, водонепроницаемости, теплопроводности и морозостойкости, что делает их конкурентоспособными на современном рынке строительных материалов [1, 3]. По расчетам специалистов, срок окупаемости предлагаемой технологической линии составляет около трех лет, что делает данный проект экономически привлекательным для инвесторов и перспективным для внедрения в регионах с развитой строительной индустрией [2, 4]. Внедрение данной технологии позволит не только обеспечить предприятия строительного комплекса современным керамическим сырьем, но и создать новые рабочие места, способствовать развитию инновационного предпринимательства в регионе.

Список литературы

1. Бакунов В. С., Мурзакова А. Р., Шаяхметов У. Ш. Пирофиллитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Тау как основа керамических композитов // Стекло и керамика. – 2011. – № 12. – С. 23–27.
2. Крупа А. А., Городов В. С. Химическая технология керамических материалов : учеб. пособие. – Киев : Выща шк., 1990. – 399 с.
3. Мурзакова А. Р., Шаяхметов У. Ш., Бакунов В. С. Композиционные материалы из пирофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау // Огнеупоры и техническая керамика. – 2011. – № 3. – С. 36–40.
4. Мурзакова А. Р., Шаяхметов У. Ш., Васин А. К., Бакунов В. С. Разработка технологии получения эффективного строительного пористого тепло- и звукоизоляционного конструкционного материала // Строительные материалы. – 2011. – № 5. – С. 65–67.
5. Патент RU № 120418 U1 от 20.09.2012 г. Бюл. 26. Линия для изготовления изделий из стеклокристаллической пенокерамики / Шаяхметов У. Ш., Мурзакова А. Р., Васин К. А.
6. Шаяхметов У. Ш., Мустафин А. Г., Амиров Р. А. Пирофиллит и материалы на его основе. – М. : Наука, 2007. – 168 с.
7. Шаяхметов, У. Ш. Пирофиллитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Тау как сырье для керамической промышленности / У. Ш. Шаяхметов, Г. Х. Янышева, Л. У. Киеккужина, В. С. Третьякова // Современные технологии композиционных материалов : материалы II научно-практической молодежной конференции с международным участием / отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. – 2016. – С. 189–190.

© Тухтаев О.Ш., Ахметшин Б.С., Ахметшина А.С., 2026

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ОЦЕНКЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ И ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Тухтаев О.Ш., Фаздалова И.Р..

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Фундаментальные подходы к оценке срока службы материалов, эксплуатируемых при экстремальных температурных режимах, приближающихся к двум тысячам градусов, требуют отказа от эмпирических методов в пользу строгих математических моделей. Глубинные физические закономерности поведения микроструктуры поликристаллических систем на основе оксидов алюминия, магния и циркония позволяют прогнозировать их неизбежное старение и остаточный ресурс с высочайшей точностью. Зернистая структура таких композитов представляет собой сложную систему, где зоны с максимальной плотностью вероятности образования химических связей формируют кристаллическую решетку, а области с минимальными значениями способствуют возникновению стекловидных фаз и микрокаверн. Энергетическое состояние системы стремится к минимуму, что термодинамически обуславливает непрерывный рост кристаллитов. При достижении критических размеров зерен межзерновые пустоты и скопления дефектов трансформируются в микротрещины под действием внешних нагрузок, что и определяет конечный момент разрушения футеровки. Точные математические зависимости, учитывающие историю изготовления и термодинамические силы перестройки структуры, дают возможность рассчитывать скорость рекристаллизации и предсказывать долговечность нагруженных элементов тепловых агрегатов [1].

Прежде чем высокотемпературные композиты смогут демонстрировать свою структурную стойкость, их необходимо сформировать, и традиционные методы длительной сушки здесь оказываются крайне неэффективными. Настоящий прорыв в скорости формообразования достигается за счет управления низкотемпературными физико-химическими процессами в алюмофосфатных системах. При нагревании смесей на основе оксида алюминия и фосфорной кислоты в интервале температур от пятидесяти до ста пятидесяти градусов происходит сложная трансформация полимерных гидрофосфатов. До достижения порога в восемьдесят градусов прочность формируется крайне медленно, однако последующий нагрев вплоть до ста десяти градусов обеспечивает резкий скачок механических характеристик, достаточных для дальнейшей обработки. Ускоренное твердение обусловлено процессами поликонденсации и агрегации наноразмерных кластеров, когда ионы металла и кислотные остатки сначала выстраиваются в макромолекулы, а затем объединяются в мицеллы, формируя прочный каркас. Управление

гелеобразованием на микроуровне позволяет выстраивать заряженные частицы в единую несущую структуру, полностью исключая необходимость многочасового выпаривания влаги в энергоемких сушильных камерах [2].

Понимание поведения ультрадисперсных систем при длительном нагреве под механической нагрузкой является ключом к созданию надежной футеровки для энергетических и металлургических комплексов. Анализ деформационных процессов в композициях на основе тонкомолотого оксида алюминия и фосфорных кислот выявляет наличие двух принципиально различных температурных зон, характер которых напрямую зависит от предварительной термической обработки. При температурах выше тысячи градусов наблюдается активизация механизма взаимного проскальзывания структурных элементов, что обусловлено образованием легкоплавкой прослойки на контактах зерен. Несмотря на то, что выделение летучих компонентов и образование аморфных фаз временно снижает вязкость межзеренного пространства, последующая кристаллизация фосфатов приводит к резкому повышению когезионной прочности и полной стабилизации формы. Эти фундаментальные закономерности эволюции структуры позволили разработать ряд практических решений, включая высокотемпературные обмазочные массы и жаростойкие бетоны, которые успешно защищают агрегаты от экстремальных термических и химических воздействий [3].

Особое внимание при создании композитов для металлургического производства уделяется подбору углеродсодержащего сырья, поскольку именно от него зависят шлакоустойчивость и способность материала противостоять расплавам. Сравнение традиционного технического углерода и природного сланцевого таурита демонстрирует, что использование последнего обеспечивает существенно более высокие показатели механической прочности и термомеханической стойкости. Изделия, сформированные с применением таурита и неорганических вяжущих, не только успешно выдерживают жесткие условия эксплуатации в печах, но и по ряду эксплуатационных характеристик превосходят зарубежные аналоги, что подтверждено успешными промышленными испытаниями футеровок сталеплавильных агрегатов [4].

Совершенствование процессов непрерывной разливки металла неразрывно связано с необходимостью создания надежных элементов оснастки, таких как стопорные пробки и стаканы-дозаторы, которые работают в прямом контакте с жидкой сталью. Внедрение инновационных подходов на базе неорганических связующих позволяет радикально пересмотреть саму концепцию производства таких изделий. Вместо многодневной сушки и высокотемпературного обжига, традиционная технология заменяется на поточный процесс, где текучая суспензия заполняет сложные формы и отверждается за пару часов при относительно низких температурах. Автоматизированные линии с точным дозированием

компонентов и компьютерным управлением обеспечивают стабильное качество каждой партии стопорных пробок, гарантируя их геометрическую точность и теплофизическую стабильность в условиях агрессивной металлургической среды [5].

Завершающим этапом интеграции новых материалов является проектирование самих тепловых агрегатов, где они будут функционировать. Классические инженерные методы расчета изоляции перестают работать при температурах, превышающих тысячу градусов, поскольку теплопроводность современных корундовых изоляторов начинает расти не линейно, а по квадратичному закону из-за доминирования фотонного механизма передачи энергии. Точное математическое моделирование трехслойной структуры теплоизоляции с учетом этой нелинейной зависимости позволяет оптимально подбирать толщину мелкопористых и крупнопористых плит, а также кремниевых нитей. Такой подход гарантирует жесткий контроль теплового потока, исключает локальные перегревы и обеспечивает возможность встраивания печи в системы автоматического компьютерного управления, где мощность нагревателей плавно подстраивается под стационарный режим с высокой точностью [6].

Список литературы

1. Шаяхметов У.Ш., Мурзакова А.Р. Получение огнеупорных углеродсодержащих керамических композиционных материалов // Огнеупоры и техническая керамика. 2014. № 4-5. С. 42-45.
2. Шаяхметов, У. Ш. Эффективная многофункциональная наноструктурированная композиционная керамика / У. Ш. Шаяхметов, А. Р. Мурзакова // Новые огнеупоры. – 2014. – № 2. – С. 19–21.
3. Шаяхметов У.Ш., Мурзакова А.Р., Гончаренко Е.А. Технология углеродсодержащей композиционной керамики // Огнеупоры и техническая керамика. 2013. № 11-12. С. 61-63.
4. Шаяхметов У.Ш., Фахретдинов И.А., Халиков Р.М., Третьякова В.С. Кинетика твердения при нагреве алюмофосфатных композиций // Доклады Башкирского университета. 2017. Т. 2. №1. С. 14-17.
5. Захаров А.В., Шаяхметов У.Ш., Ахметшина Г.Г. Расчет высокотемпературной муфельной печи с новыми теплоизоляционными материалами // Вестник Башкирского университета. 2017. Т. 22. №4. С. 996-1000.
6. Захаров А.В., Шаяхметов У.Ш., Батршина Г.С. Квантовая теория долговечности огнеупоров // Промышленные процессы и технологии. 2024. Т. 4. № 2(12). С. 60-66.

© Тухтаев О.Ш., Фаздалова И.Р., 2026

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ
И ФОСФАТНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

Тюренков А.В., Фаздалова И.Р., Ахметшин Б.С.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Сегодня строительная сфера переживает настоящую глобальную трансформацию, требуя поиска свежих и нестандартных решений для существенного повышения эффективности труда и обеспечения независимости от внешних поставок в условиях изменчивой экономической ситуации. Передовые разработки в области создания сверхмалых структурных материалов способны дать мощный стратегический импульс как частному бизнесу, так и государственному сектору, открывая совершенно новые горизонты прочности и долговечности возводимых объектов. Однако на практике мы часто сталкиваемся с весьма парадоксальной ситуацией: по-настоящему прорывные и блестящие идеи, рождающиеся в университетских стенах и обладающие колоссальным потенциалом, зачастую остаются лишь теорией на бумаге, не принося реальной коммерческой пользы и не доходя до этапа массового производства. Главной причиной такого технологического застоя выступает исторически сложившаяся слабость организационных и экономических механизмов, которые должны связывать академическую среду с суровыми реалиями индустрии. Чтобы преодолеть этот разрыв и не потерять темпы развития в двадцать первом веке, требуется совершенно иной, комплексный взгляд на процесс продвижения новаций от этапа зарождения концепции до ее полноценного вывода на конкурентный рынок. [1]

Для эффективного решения описанной проблематики предлагается взглянуть на сложившуюся ситуацию через призму современного экосистемного подхода, который кардинально меняет привычные правила игры. В отличие от классических индустриальных или кластерных объединений, здесь ключевой фигурой выступает не просто крупная корпорация, а именно активный предприниматель, способный невероятно гибко координировать финансовые и интеллектуальные ресурсы, а также объединять усилия совершенно разных участников регионального рынка. Предпринимательство в таком широком понимании становится центральным двигателем, поддерживающим внедрение высокотехнологичных академических проектов в реальную жизнь. При этом огромное, порой решающее влияние оказывает сама окружающая деловая среда, где экономически активные субъекты постоянно взаимодействуют друг с другом на принципах сложной фрактальной интеграции. Подобный системный взгляд помогает лучше осознать, как именно зарождаются новые компании с высокой долей риска и почему для

их выживания и успеха так критично важна региональная логистика, а также плотное сотрудничество даже между открыто конкурирующими игроками. [2, 3]

Особая, фундаментальная роль в этой развивающейся экосистеме отводится высшим учебным заведениям, которые выступают не только кузницей кадров, но и главными генераторами передовых идей. Ярким и весьма показательным примером успешного взаимодействия науки и реального сектора служит процесс создания инновационных стеновых и перегородочных конструкций на основе гипса с уникальной сверхмалой структурой, где размер внутренних частиц измеряется буквально миллионными долями миллиметра. Данные высокотехнологичные материалы уже прошли серию успешных испытаний в жестких опытно-промышленных условиях, продемонстрировав высочайший потенциал для массового применения при возведении зданий нового поколения. Для достижения столь впечатляющих результатов академические лаборатории задействуют невероятно мощное аналитическое оборудование, позволяющее до мельчайших подробностей рассматривать морфологию поверхности и распределение химических элементов внутри создаваемых образцов. Примечательно, что сам образовательный процесс в таких условиях приобретает ярко выраженную практическую направленность, позволяя будущим выпускникам развивать нестандартное, творческое мышление и принимать непосредственное участие в коммерциализации плодов своего интеллектуального труда. [4,7]

Следует четко понимать, что успешное продвижение любых передовых разработок категорически невозможно без грамотно выстроенных и отлаженных методологических инструментов поддержки. Среди наиболее эффективных и проверенных временем способов сближения передовой мысли и индустрии выделяется создание базовых образовательных площадок непосредственно на территории действующих производственных предприятий, а также максимально активное привлечение будущих работодателей к организации студенческих практик. Подобный подход позволяет формировать у молодых специалистов именно те навыки, которые остро востребованы прямо сейчас, и мягко адаптировать их к суровым реалиям современного производственного цикла. Дополнительным и очень мощным катализатором развития выступает создание специализированных научно-образовательных центров, внутри которых происходит настоящая синергия учебной рутины и смелой коммерческой деятельности. Интеграция передового обучения и смелых экспериментов дает возможность создавать сверхнадежные продукты, такие как керамические композиты нового поколения, обладающие потрясающей устойчивостью к разрушительным воздействиям влаги и агрессивной среды. [5]

В конечном итоге, успешное формирование привлекательной и плодотворной деловой среды в любом регионе требует постоянного,

вдумчивого мониторинга и объективной оценки того, насколько местная экосистема вообще готова к зарождению и поддержке новых высокотехнологичных инициатив. Тщательный анализ многообразных внешних и внутренних факторов, напрямую влияющих на скорость внедрения новаций, показывает, что процесс коммерциализации носит весьма динамичный, изменчивый характер и требует практически ежедневной корректировки управленческих решений. Кроме того, совершенно неотъемлемой частью успешного продвижения любой интеллектуальной собственности является создание надежных внутренних механизмов защиты от недобросовестной конкуренции и копирования технологий. Становится абсолютно очевидным, что только при условии тесного, многоуровневого и искреннего партнерства между государственным аппаратом, частным бизнесом и профильными образовательными учреждениями удастся превратить абстрактные, сложные знания в конкретные осязаемые товары, обеспечивая тем самым уверенный экономический рост отрасли и технологическое превосходство на долгие годы вперед. [6, 8]

Параллельно с развитием экосистемных подходов в строительстве, колоссальное значение приобретает создание принципиально новых специализированных веществ, способных выдерживать экстремальные термические нагрузки в различных сферах тяжелой индустрии. Одним из наиболее перспективных направлений здесь выступает разработка огнеупорных безобжиговых составов, сочетающих в себе жесткую основу из кремниевых соединений со специальными жидкими фосфатными добавками, которые обеспечивают быстрое затвердевание смеси. Традиционные методы создания подобных высокопрочных элементов требуют огромных энергетических затрат на финишное прокаливание, тогда как современные химические растворы позволяют формировать монолитную внутреннюю структуру без термического воздействия. Главная ценность таких веществ кроется в их уникальном сочетании крайне низкого теплового расширения, невероятной твердости и устойчивости к разрушительному воздействию раскаленного воздуха. При этом итоговые физические свойства получаемого продукта, включая плотность, пористость и способность сопротивляться давлению, напрямую определяются химическими реакциями между твердыми зёрнами наполнителя и жидким раствором. Длительные испытания на сжатие при температуре в тысячу четыреста градусов Цельсия доказывают, что данные материалы не деформируются благодаря высокой вязкости образующихся аморфных соединений, что открывает огромные возможности для их масштабного внедрения в производство.

Список литературы

1. Мурзакова А. Р., Шаяхметов Р. У., Валеев И. М. Получение и исследование композиционных материалов на основе карбида кремния и

фосфатных связующих // Химическая промышленность сегодня. — 2012. — №8. — С. 30–35.

2. Гнесин Г. Г. Карбидкремниевые материалы. — М.: Металлургия, 1977.

3. Копейкин В. А., Петрова А. П., Рашкован Н. Л. Материалы на основе металлофосфатов. — М.: Химия, 1976.

4. Шаяхметов У. Ш. Фосфатные композиционные материалы и опыт их применения. — Уфа: РИЦ «Старая Уфа», 2001.

5. Голынкин-Вольфсон С. Л., Сычёв М. М., Судакас Л. Г., Скобло Л. И. Химические основы технологии и применения фосфатных связок и покрытий.

6. Бирченко К. А. Получение и исследование фосфатных материалов с карбидкремниевыми наполнителями: дипломная работа. — Минск: Белорусский государственный университет, 2014.

7. Будников П. П., Хорошавин Л. Б. Огнеупорные бетоны на фосфатных связках. — М.: Металлургия, 1971.

© Тюренков А.В., Фаздалова И.Р., Ахметшин Б.С., 2026

УДК 666.3

НАНОСТРУКТУРИРОВАННАЯ ПЕНОКЕРАМИКА СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Тюренков А.В., Фаздалова И.Р., Ахметшин Б.С.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Современный мир строительства постоянно находится в поиске идеального баланса между легкостью возводимых конструкций, их эксплуатационной надежностью и способностью максимально эффективно сберечь тепло. Сегодня на передний план уверенно выходят инновационные высокопористые материалы, среди которых совершенно особое место занимает так называемая наноструктурированная пенокерамика. По своей сути этот удивительный продукт объединяет в себе качества, которые раньше казались специалистам практически несовместимыми: он прекрасно удерживает нагретый воздух внутри помещений, не пропускает назойливый уличный шум, совершенно не боится открытого огня и биологического разрушения, а также отличается поразительной долговечностью. Суть его уникальности кроется в совершенно особой внутренней архитектуре, которая представляет собой огромное множество крошечных, надежно изолированных друг от друга пустот, заполненных обычным воздухом. Подобное внутреннее строение позволяет кардинально снизить общую массу возводимых стен без какой-либо потери их несущей способности и базовой конструктивной прочности. Примечательно, что такие смелые решения сегодня становятся не просто красивыми теоретическими концептами, а вполне реальными и невероятно практичными инструментами для создания действительно

энергосберегающих домов, где повседневный человеческий комфорт очень тесно переплетается с грамотной экономией исчерпаемых ресурсов и искренней заботой об окружающей нас среде. [1, 5]

Сам процесс создания этого необычного строительного ресурса чем-то напоминает своеобразную кулинарную магию, только перенесенную на язык высоких промышленных технологий и огромных заводских масштабов. В качестве фундаментальной производственной основы здесь используются вполне доступные и распространенные природные компоненты, такие как различные виды глин, диатомиты, кремнистые породы, а порой в дело идут и самые обычные производственные отходы вроде топливных шлаков, древесных опилок или даже речного ила. Использование местного и вторичного сырья делает весь производственный цикл не только очень экологичным, но и крайне привлекательным с чисто экономической точки зрения. Чтобы превратить эту исходно плотную и тяжелую минеральную массу в невероятно легкую и воздушную пену, применяется весьма интересный метод прямого вспенивания. В тщательно подготовленную жидкую глинистую массу активно вмешивается атмосферный воздух или же добавляются специальные химические вещества, которые начинают активно выделять мелкие пузырьки прямо внутри раствора под воздействием роста температуры. Для того чтобы вся эта нестабильная пенная субстанция не осела и пузырьки не лопнули раньше времени, используются особые поверхностно-активные добавки, которые существенно снижают внутреннее напряжение и очень надежно фиксируют каждый крошечный воздушный карман строго на своем месте. Помимо технологии прямого вспенивания, инженеры активно ищут и другие, не менее изящные пути создания совершенной ячеистой структуры. Одним из таких невероятно интересных подходов является метод своеобразного дублирования, при котором самая обычная полимерная губка с открытыми ячейками полностью погружается в жидкий керамический раствор, после чего все излишки жидкости тщательно удаляются. После того как эта пропитанная заготовка отправляется в раскаленную печь, органическая губка полностью сгорает без малейшего следа, оставляя после себя лишь точную керамическую копию своей изначальной сетчатой формы, которая затем спекается до состояния невероятной каменной твердости. Параллельно с этим довольно быстро развиваются перспективные направления по созданию стеклокристаллических блоков, где полезная пористость формируется в процессе щадящего нагрева специальной смеси, включающей особые газообразующие элементы. Все эти неустанные поиски и постоянные смелые эксперименты с составами продиктованы одной единственной глобальной целью — получить максимально универсальный, надежный и доступный продукт, который будет способен без проблем выдерживать экстремальные рабочие температуры, уверенно противостоять агрессивным химическим средам и исправно служить

долгими десятилетиями. После того как первичная воздушная масса успешно сформирована, наступает, пожалуй, наиболее ответственный этап её аккуратного закрепления и последующего финального закаливания. Полученная жидкая пена сначала очень бережно и медленно высушивается, избавляясь от мешающей лишней влаги, а затем отправляется в огромные промышленные печи, где при колоссальных температурах около тысячи градусов Цельсия происходит настоящее таинство обжига. Важно понимать, что в этот критический момент вода окончательно испаряется, полностью выгорают все вспомогательные органические стабилизаторы, а твердые частицы минералов намертво сцепляются друг с другом, образуя невероятно жесткий и долговечный кристаллический каркас. Интересно, что существует и альтернативный путь — так называемая безобжиговая технология, когда требуемая прочность достигается исключительно за счет использования особых вяжущих компонентов, что позволяет создавать не менее надежные стеновые блоки при значительно меньших энергозатратах предприятия. В любом из вариантов результатом этих сложнейших преобразований становится готовый легкий блок, насквозь пронизанный закрытыми порами, толщина стенок между которыми настолько микроскопически мала, что детально рассмотреть её можно только с помощью мощнейших сканирующих устройств. Если попытаться мысленно погрузиться внутрь готового керамического изделия, перед нами откроется поистине завораживающая и гармоничная картина скрытого микромира: мириады изолированных воздушных капсул, бережно разделенных тончайшими, но абсолютно монолитными и непроницаемыми перегородками. Именно такая строгая и закрытая внутренняя геометрия играет самую главную роль в обеспечении выдающихся эксплуатационных качеств готового продукта. Поскольку поры практически никак не сообщаются друг с другом, материал совершенно не впитывает окружающую воду, оставаясь абсолютно сухим даже в самых неблагоприятных погодных условиях. Благодаря этому замечательному свойству ему абсолютно не страшны суровые многократные зимы и резкие перепады температур, ведь внутри камня просто нет коварной влаги, которая могла бы неожиданно замерзнуть, расшириться и безжалостно разорвать структуру изнутри. В то же самое время запертый в этих крошечных камерах воздух начинает работать как совершенный природный барьер для тепла, надежно преграждая путь зимней стуже и сохраняя спасительную прохладу жарким летом. И, что самое удивительное, несмотря на свою феноменальную легкость, такие блоки способны без труда выдерживать колоссальное давление, что делает их полноценным стеновым материалом.

Масштабный и планомерный переход к повсеместному использованию подобных инновационных материалов открывает перед всей мировой строительной отраслью совершенно невероятные экономические и сугубо практические перспективы. Применение столь

легких керамических изделий позволяет очень существенно уменьшить толщину и общую массу несущих стен, что автоматически в разы снижает нагрузку на фундамент и дает великолепную возможность заметно сэкономить на привычных тяжелых материалах. По весьма строгим подсчетам экспертов, энергетические затраты на возведение одного квадратного метра наружной стены сокращаются почти вдвое, а расход топлива при самом производстве таких пористых изделий гарантированно падает на пятую часть по сравнению с классическими тяжелыми аналогами. Однако масштабное внедрение столь передовых технологий требует принципиально нового взгляда на человеческий фактор и глубокую подготовку квалифицированных инженерных кадров. Грамотно управлять производством таких сложных многокомпонентных систем должны исключительно профильные специалисты, досконально понимающие все скрытые тонкости процессов. Именно поэтому сегодня так активно разворачиваются целевые программы профессиональной переподготовки, призванные научить мастеров тонко настраивать параметры оборудования и обеспечивать безупречное качество той самой продукции, которая в скором времени должна полностью преобразить привычный облик наших развивающихся городов.

Сегодня строительная сфера переживает настоящую глобальную трансформацию, требуя поиска свежих и нестандартных решений для существенного повышения эффективности труда и обеспечения независимости от внешних поставок в условиях изменчивой экономической ситуации. Передовые разработки в области создания сверхмалых структурных материалов способны дать мощный стратегический импульс как частному бизнесу, так и государственному сектору, открывая совершенно новые горизонты прочности и долговечности возводимых объектов. Однако на практике мы часто сталкиваемся с весьма парадоксальной ситуацией: по-настоящему прорывные и блестящие идеи, рождающиеся в университетских стенах и обладающие колоссальным потенциалом, зачастую остаются лишь теорией на бумаге, не принося реальной коммерческой пользы и не доходя до этапа массового производства. Главной причиной такого технологического застоя выступает исторически сложившаяся слабость организационных и экономических механизмов, которые должны связывать академическую среду с суровыми реалиями индустрии. Чтобы преодолеть этот разрыв и не потерять темпы развития в двадцать первом веке, требуется совершенно иной, комплексный взгляд на процесс продвижения новаций от этапа зарождения концепции до ее полноценного вывода на конкурентный рынок. [1]

Для эффективного решения описанной проблематики предлагается взглянуть на сложившуюся ситуацию через призму современного экосистемного подхода, который кардинально меняет привычные правила игры. В отличие от классических индустриальных или кластерных

объединений, здесь ключевой фигурой выступает не просто крупная корпорация, а именно активный предприниматель, способный невероятно гибко координировать финансовые и интеллектуальные ресурсы, а также объединять усилия совершенно разных участников регионального рынка. Предпринимательство в таком широком понимании становится центральным двигателем, поддерживающим внедрение высокотехнологичных академических проектов в реальную жизнь. При этом огромное, порой решающее влияние оказывает сама окружающая деловая среда, где экономически активные субъекты постоянно взаимодействуют друг с другом на принципах сложной фрактальной интеграции. Подобный системный взгляд помогает лучше осознать, как именно зарождаются новые компании с высокой долей риска и почему для их выживания и успеха так критично важна региональная логистика, а также плотное сотрудничество даже между открыто конкурирующими игроками.[2]

Особая, фундаментальная роль в этой развивающейся экосистеме отводится высшим учебным заведениям, которые выступают не только кузницей кадров, но и главными генераторами передовых идей. Ярким и весьма показательным примером успешного взаимодействия науки и реального сектора служит процесс создания инновационных стеновых и перегородочных конструкций на основе гипса с уникальной сверхмалой структурой, где размер внутренних частиц измеряется буквально миллионными долями миллиметра. Данные высокотехнологичные материалы уже прошли серию успешных испытаний в жестких опытно-промышленных условиях, продемонстрировав высочайший потенциал для массового применения при возведении зданий нового поколения. Для достижения столь впечатляющих результатов академические лаборатории задействуют невероятно мощное аналитическое оборудование, позволяющее до мельчайших подробностей рассматривать морфологию поверхности и распределение химических элементов внутри создаваемых образцов. Примечательно, что сам образовательный процесс в таких условиях приобретает ярко выраженную практическую направленность, позволяя будущим выпускникам развивать нестандартное, творческое мышление и принимать непосредственное участие в коммерциализации плодов своего интеллектуального труда. [3]

Следует четко понимать, что успешное продвижение любых передовых разработок категорически невозможно без грамотно выстроенных и отлаженных методологических инструментов поддержки. Среди наиболее эффективных и проверенных временем способов сближения передовой мысли и индустрии выделяется создание базовых образовательных площадок непосредственно на территории действующих производственных предприятий, а также максимально активное привлечение будущих работодателей к организации студенческих практик. Подобный подход позволяет формировать у молодых специалистов именно

те навыки, которые остро востребованы прямо сейчас, и мягко адаптировать их к суровым реалиям современного производственного цикла. Дополнительным и очень мощным катализатором развития выступает создание специализированных научно-образовательных центров, внутри которых происходит настоящая синергия учебной рутины и смелой коммерческой деятельности. Интеграция передового обучения и смелых экспериментов дает возможность создавать сверхнадежные продукты, такие как керамические композиты нового поколения, обладающие потрясающей устойчивостью к разрушительным воздействиям влаги и агрессивной среды. [3, 4]

В конечном итоге, успешное формирование привлекательной и плодотворной деловой среды в любом регионе требует постоянного, вдумчивого мониторинга и объективной оценки того, насколько местная экосистема вообще готова к зарождению и поддержке новых высокотехнологичных инициатив. Тщательный анализ многообразных внешних и внутренних факторов, напрямую влияющих на скорость внедрения новаций, показывает, что процесс коммерциализации носит весьма динамичный, изменчивый характер и требует практически ежедневной корректировки управленческих решений. Кроме того, совершенно неотъемлемой частью успешного продвижения любой интеллектуальной собственности является создание надежных внутренних механизмов защиты от недобросовестной конкуренции и копирования технологий. Становится абсолютно очевидным, что только при условии тесного, многоуровневого и искреннего партнерства между государственным аппаратом, частным бизнесом и профильными образовательными учреждениями удастся превратить абстрактные, сложные знания в конкретные осязаемые товары, обеспечивая тем самым уверенный экономический рост отрасли и технологическое превосходство на долгие годы вперед. [4]

Список литературы

1. Синицин Д. А., Шаяхметов У. Ш., Рахимова О. Н., Халиков Р. М., Недосеко И. В. «Наноструктурированная пенокерамика строительного назначения: технология производства и применения» // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Том 13, №4. С. 213–221. DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-4-213-221.
2. Шаяхметов У. Ш., Фахретдинов И. А., Чудинов В. В., Халиков Р. М., Латыпов В. М., Латыпова Т. В. «Высокопористая наноструктурированная пенокерамика строительного назначения. Свойства. Методы исследования». Уфа: РИЦ БашГУ, 2015. 164 с..
3. Гайсина А. Ш., Чудинов В. В., Батршина Г. С., Шаяхметов У. Ш. «Высокопористая наноструктурированная пенокерамика строительного назначения. Свойства. Методы исследования». Москва; Вологда: Инфра-Инженерия,

4. Шаяхметов У. Ш., Фахретдинов И. А., Чудинов В. В. и др. «Высокопористая наноструктурированная пенокерамика строительного назначения. Исследование процессов при производстве. Контроль качества». Москва: ИНФРА-М, 2022. 238 с. ISBN 978-5-16-111210-6.

© Тюренков А.В., Фаздалова И.Р., Ахметшин Б.С., 2026

УДК 691.215.1

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ МОДИФИКАЦИИ
ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ИЗВЕСТНЯКА-РАКУШЕЧНИКА
ПОЛИСУЛЬФИДНЫМИ КОМПОЗИЦИЯМИ**

Фаздалова И.Р., Ахметшина А.С., Никитина В.А., Яншаев Д.С.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Известняк-ракушечник представляет собой осадочную горную породу биогенного происхождения, сформированную в результате многовекового уплотнения раковин моллюсков, кварцевого песка и глинистых частиц под воздействием литостатического давления и температурных факторов [1]. Уникальная микроструктура данного материала характеризуется наличием разветвленной капиллярно-пористой системы с показателями общей пористости, варьирующими в пределах 22-50 %, что предопределяет его высокие тепло- и звукоизоляционные свойства, но одновременно обуславливает существенные эксплуатационные ограничения [1, 8]. Гигроскопичность материала, проявляющаяся в интенсивном водопоглощении, постепенном растворении карбонатной составляющей под воздействием атмосферных и грунтовых вод, особенно обогащенных кислыми соединениями, а также недостаточная морозостойкость (марка F15-F35) существенно сужают области его рационального применения в современном строительстве [1, 6, 8].

Актуальность разработки эффективных методов гидрофобизации известняка-ракушечника диктуется необходимостью повышения долговечности строительных материалов и конструкций на его основе, подверженных атмосферным воздействиям [1, 10]. Среди существующих подходов к решению данной проблемы особое место занимает технология пропитки полисульфидными растворами, основанная на способности полисульфидных соединений к глубокому проникновению в поровое пространство с последующим формированием устойчивого гидрофобного барьера [1, 4, 7].

Экспериментальные исследования проводились с использованием песчаной фракции 2,5 мм, представляющей собой отсев известняка-ракушечника Бейнеуского месторождения (Мангистауская область, Республика Казахстан), образующийся в качестве побочного продукта при производстве щебня [1]. Модификация осуществлялась методом погружения образцов в растворы полисульфида кальция различной

плотности (от 1,16 до 1,35 г/см³) с экспозицией 30 и 60 минут при температуре окружающей среды [1, 6].

Анализ структурных преобразований модифицированного материала выявил существенные изменения его физико-механических характеристик. Насыпная плотность песка после обработки демонстрировала тенденцию к увеличению на 23–28 %, что свидетельствует о заполнении порового пространства полисульфидными соединениями и образовании дополнительных структурных связей между частицами [6]. Степень пропитки, определяемая как относительное увеличение массы образца, варьировала от 14,25% при использовании раствора плотностью 1,16 г/см³ до 22,64% при плотности 1,35 г/см³, что подтверждает концентрационную зависимость процесса сорбции полисульфида пористой структурой материала [1, 4].

Наиболее значимые изменения претерпевал коэффициент водопоглощения, характеризующий способность материала к капиллярному подсосу влаги. Исходный песок из известняка-ракушечника демонстрировал высокое значение данного показателя, равное 32,5%, что типично для материалов с развитой пористой структурой [1,5]. После обработки полисульфидными растворами наблюдалось многократное снижение водопоглощения: при использовании раствора минимальной плотности (1,16 г/см³) показатель снижался до 4,5%, что соответствует уменьшению в 7,2 раза, тогда как при максимальной концентрации (1,35 г/см³) достигалось значение 1,9%, представляющее снижение в 17,1 раза относительно исходного материала [1, 4].

Механизм модифицирующего действия полисульфидных растворов носит комплексный характер и включает несколько взаимосвязанных физико-химических процессов. На начальной стадии происходит диффузия полисульфидных ионов через систему капилляров и пор вглубь материала, движущей силой которой является капиллярное давление и концентрационный градиент [3, 9]. Полисульфид кальция, диссоциируя в водном растворе, образует подвижные ионы, способные проникать в нанопоры размером менее 100 нм, недоступные для более крупных частиц [3, 7].

По мере испарения воды из пропитанного материала протекают процессы кристаллизации и химического взаимодействия полисульфидных соединений с карбонатной матрицей известняка [1, 6]. В порах формируются наноразмерные кристаллы элементарной серы и нерастворимых полисульфидных комплексов, которые частично заполняют поровое пространство, создавая разветвленную сеть гидрофобных включений [1, 3, 7]. Образующееся покрытие характеризуется химической инертностью по отношению к воде, устойчивостью к воздействию кислых сред и долговременной стабильностью эксплуатационных свойств [4, 7].

Гидрофобизирующий эффект обусловлен изменением поверхностной энергии пор: гидрофильная карбонатная поверхность с высоким значением

краевого угла смачивания трансформируется в гидрофобную за счет адсорбции полисульфидных групп, обладающих низким сродством к воде [4, 9]. Это приводит к резкому снижению капиллярного подсоса влаги и предотвращает проникновение воды вглубь материала даже при длительном контакте с водной средой [1, 4].

Концентрационная зависимость эффективности пропитки демонстрирует нелинейный характер: наиболее интенсивное снижение водопоглощения наблюдается при переходе от слабokonцентрированных растворов ($\rho = 1,16-1,17 \text{ г/см}^3$) к средним концентрациям ($\rho = 1,20-1,24 \text{ г/см}^3$), тогда как дальнейшее увеличение плотности до $1,35 \text{ г/см}^3$ обеспечивает лишь незначительное улучшение гидрофобных свойств [1, 6]. Данная закономерность может быть объяснена достижением предела заполнения доступного порового пространства при определенных концентрациях полисульфида, когда дополнительные количества реагента не находят свободных центров сорбции [3, 9].

Временной фактор также оказывает влияние на эффективность модификации: увеличение экспозиции пропитки с 30 до 60 минут способствует более полному проникновению полисульфидных соединений вглубь материала и формированию однородного гидрофобного слоя по всему объему образца [1, 6]. Однако практические соображения технологичности процесса диктуют необходимость поиска оптимального баланса между временем обработки и достигаемым эффектом [1, 10].

Полученные результаты свидетельствуют о высокой перспективности применения полисульфидной пропитки для модификации песчаных фракций известняка-ракушечника. Достигаемое снижение водопоглощения до 1,9–4,5% при сохранении технологической простоты процесса (обработка при нормальной температуре без применения специального оборудования) открывает возможности для широкого внедрения данной технологии в практику производства строительных материалов [4, 10].

Список литературы

1. Массалимов И.А., Массалимов Б.И., Ахметшин Б.С., Уракаев Ф.Х., Буркитбаев М.М. Преобразование отходов добычи известняка-ракушечника пропиткой полисульфидными растворами // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. 2020. Т. 12, № 2. С. 77–83. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-2-77-83.
2. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества: учебник для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2019. 487 с.
3. Уракаев Ф.Х. Наноструктурированные материалы на основе карбонатных пород: физико-химические аспекты формирования и свойства // Журнал прикладной химии. 2019. Т. 92, № 8. С. 1123–1131.
4. Буркитбаев М.М., Массалимов И.А. Гидрофобизация пористых строительных материалов полисульфидными композициями // Вестник

Казахского национального университета имени аль-Фараби. Серия химическая. 2020. № 1 (97). С. 45–53.

5. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2014. 12 с.

6. Ахметшин Б.С., Массалимов И.А. Физико-химические основы модификации известняковых материалов: монография. Уфа: Издательство Башкирского государственного университета, 2019. 164 с.

7. Массалимов Б.И. Структурообразование и свойства серосодержащих композиций для защиты строительных материалов от коррозии. Москва: Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН, 2018. 156 с.

8. ГОСТ 12508-2016. Щебень и песок из ракушечника. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2016. 8 с.

9. Уракаев Ф.Х., Буркитбаев М.М. Капиллярные явления в пористых строительных материалах: теоретические основы и практические приложения // Химическая технология. 2020. Т. 21, № 4. С. 178–186.

10. Массалимов И.А. Ресурсосберегающие технологии переработки отходов добычи карбонатных пород // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23, № 11. С. 28–33.

© Фаздалова И.Р., Ахметшина А.С., Никитина В.А.,
Яншаев Д.С., 2026

УДК 615.252.34:547.598

ОЦЕНКА АНТИДИАБЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОНО И БИС-АРИЛИДЕНОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ХОЛЛОНГДИОНА

Фатхутдинова Р.В.¹, Валиуллин И.Ф.¹, Миннибаева Э.М.¹,
Смирнова И.Е.², Thi Thu Ha³

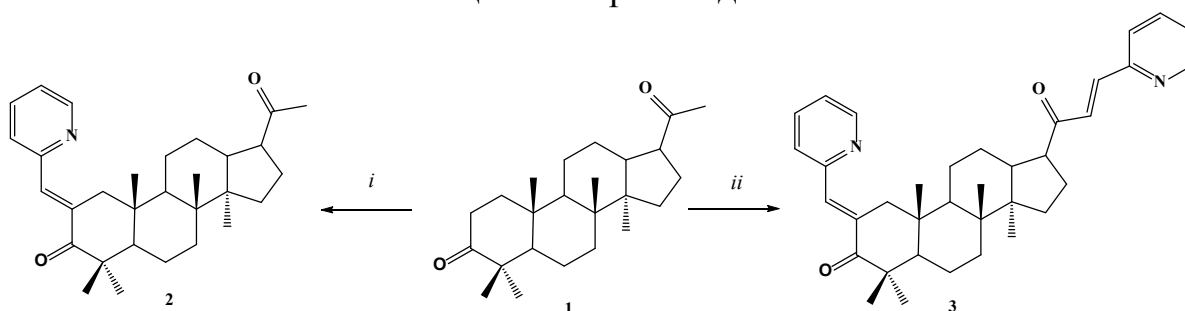
¹Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия, ²Уфимский Институт химии УФИЦ РАН, Уфа, Россия, ³Institute of Chemistry – Vietnamese Academy of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

Сахарный диабет представляет собой группу метаболических нарушений, приводящих к острым и длительным тяжелым осложнениям. Несмотря на значительные достижения современной антидиабетической фармакотерапии, отмечаются различные формы устойчивости к назначаемым препаратам со сложным генезом развития побочных эффектов, а длительная терапия любым из существующих средств приводит к развитию толерантности. В связи с этим поиск путей усиления антидиабетической активности и преодоления резистентности к лекарственным препаратам является одним из приоритетных направлений современной медицины.

Одним из наиболее перспективных подходов к решению этой проблемы является обращение к природным источникам. В мировой практике неуклонно растет удельный вес и объем производства

лекарственных препаратов, полученных путем синтетических трансформаций веществ, выделяемых из дикорастущих и культивируемых растений. Так, существенная часть препаратов, введенных в медицинскую практику за последние три десятилетия, получена методом полусинтеза на основе растительных терпеноидов (глицирам, карбеноксолон, олеаноловая кислота, гинзенозиды и др.). В ряду таких природных платформ особое место занимают тритерпеновые соединения. В частности, выбранный в данной работе в качестве исходной структуры холлонгдион и его производные уже зарекомендовали себя как соединения, обладающие выраженной противораковой и противовоспалительной активностью [1-3]. Направленная химическая модификация данного объекта позволяет существенно расширить спектр его терапевтического действия.

Среди методов такой модификации ключевое значение имеет введение арилиденовых заместителей. α,β - Ненасыщенные арилиденовые тритерпеноиды, являясь продуктами альдольной конденсации с ароматическими альдегидами, представляют собой важный класс производных, обладающих широким спектром биологической активности [4,5]. Помимо собственного биопотенциала, они являются ценными синтонами в органическом синтезе благодаря наличию α,β - ненасыщенной системе, активированной ароматическим заместителем. В качестве основных реакционных блоков эти соединения участвуют в ряде ключевых реакций, особенно в построении гетероциклических систем с образованием пиразолов, пиразолинов, изоксазолов, тиазолов, имидазолов и других N-, O, S-гетероциклов [6-8]. Таким образом, C2-арилиденовые производные тритерпеноидов представляют собой стратегически важный класс соединений, сочетающий синтетическую гибкость и высокий биологический потенциал для создания новых эффективных терапевтических агентов. В данной работе осуществлен синтез и оценена активность моно и бис-замещенных производных.



Реагенты и условия i 1 ммоль пиридин-2-карбальдегида, EtOH, 40% KOH/EtOH, 0°C, 30 мин; *ii* 2 ммоль пиридин-2-карбальдегида, EtOH, 40% KOH/EtOH, 22°C, 2ч.

Полученные ранее по реакции Кляйзена-Шмидта C2 моно- и C2, 21-бис производные холлонгдиона, содержащие фрагмент 2-пиридилидена,

были исследованы на их способность ингибировать фермент α -глюкозидазу [2].

Для оценки антидиабетической активности *in vitro* была исследована способность соединений **1–3** ингибировать фермент α -глюкозидазу (выделенную из *Saccharomyces cerevisiae*). Большинство полученных производных продемонстрировали высокую ингибирующую способность со значениями IC_{50} в диапазоне от 11.90 до 60.09 мкМ (Таблица 1). При этом все новые модифицированные соединения превзошли по активности нативную платформу **1** ($IC_{50} = 60.09$ мкМ).

Таблица 1.

Ингибирующая активность соединений **1–3** в отношении α -глюкозидазы.

Соединение	IC_{50} , μ М
1	60.20
2	11.90
3	25.60
Акарбоза	174.90

Сравнение моно- и бис-производных холлонгдиона показало, что 2,21-бис-(2-пиридинилметилен)производное **3** уступает по эффективности ($IC_{50}=25.60\mu$ М) монозамещенному 2(E)-(2-пиридинилметилен)производному **2**, которое проявило наиболее выраженное ингибирование с $IC_{50} = 11.90$ μ М. Таким образом, соединение **2** было определено как соединение лидер с активностью в 14 раз активнее препарата сравнения акарбозы. Положительное влияние на активность в отношении α -глюкозидазы производного даммаранового типа **2**, по-видимому, обусловлено наличием свободного ацетильного фрагмента.

Таким образом, соединение **2**, содержащие 2-никотиноилиденовый фрагмент в положении C2 цикла А и оксо-функцию в положении C21, проявляет высокую эффективность в ингибировании глюкозидазы.

Исследование выполнено в рамках Госзадания № 125020601629-0.

Список литературы

1. Smirnova I., Drăghici G., Kazakova O. et al. Hollongdione arylidene derivatives induce antiproliferative activity against melanoma and breast cancer through pro-apoptotic and antiangiogenic mechanisms. *Bioorganic Chemistry*. 2022. 119, P. 105535. DOI: 10.1016/j.bioorg.2021.105535.
2. Smirnova I., Galimova Z., Lobov A. et al. Synthesis and Antitumor Potency of 2E,21E-bis-(2-Pyridinylidene)-hollongdione in NCI-60 Panel and Zebrafish Model. *Int.J.Mol.Sci.* 2026. 27. P. 1813, DOI:org/10.3390/ijms27041813.
3. Danilov R.D., Smirnova I.E., Galimova Z.I. et al. A Novel Dipterocarpol Derivative that Targets Alpha-Glucosidase and NLRP3 Inflammasome Activity for Treatment of Diabetes Mellitus. *Chem. Biodiversity* 2025. 22. e202401626. DOI: org/10.1002/cbdv.202401626.

4. Khwaza V., Aderibigbe B.A. Potential pharmacological properties of triterpene derivatives of ursolic acid. *Molecules* 2024. 29(16). P. 3884. DOI: 10.3390/molecules29163884.

5. Hassan Mir R., Godavari G., Siddiqui N.A. et al. Design, synthesis, molecular modelling, and biological evaluation of oleanolic acid-arylidene derivatives as potential anti-inflammatory agents. *Drug Des. Devel. Ther.* 2021. P. 385–397. DOI: 10.2147/DDDT.S291784.

6. Nazarov MA, Tolmacheva IA, Eroshenko DV et al. Synthesis of 1,2-azole derivatives on the basis of α,β -unsaturated triterpene aldehydes. *Chem. Heterocycl. Compd.* 2020. 56(10). P. 1321–1328. DOI: 10.1007/s10593-020-02817-y.

7. Nazarov MA, Tolmacheva IA, Gagarskih ON, Grishko VV. Synthesis and cytotoxic activity of triterpenoids with N,O-heterocyclic fragments based on 2-formyl-1(2)-ene derivative of methyl dihydrobetulonate. *Chem. Pap.* 2023. 77(4). P. 2219–2227. DOI: 10.1007/s11696-022-02624-z

8. Dong Y., Wittlin S, K Sriraghavan, et al. *J. Med. Chem.* 2010. 53. P. 481—491, DOI: 10.1021/jm901473s.

© Фатхутдинова Р.В., Валиуллин И.Ф., Миннибаева Э.М.,
Thi Thu Ha, Смирнова И.Е., 2026

УДК 546.762-766

ОРГАНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ХРОМА: БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ И КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Хабутдинов Р.Р., Мухамедзянова А.А.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Хром является важным переходным металлом, образующим разнообразные органические комплексы [1]. В настоящее время особое внимание уделяется изучению их биологической активности и каталитических свойств.

Органические комплексы хрома представляют собой координационные соединения, где ион хрома связан с органическими лигандами. По степени окисления хрома выделяют три основные группы: комплексы Cr(0), Cr(III) и реже встречающиеся комплексы Cr(II) и Cr(VI).

Наиболее изученным является пиколинат хрома ($\text{Cr}(\text{pic})_3$), применяемый как биологически активная добавка. Однако его использование ограничено из-за обнаруженной генотоксичности [2]. В качестве альтернативы разрабатываются новые комплексы, например, тринуклеарный $[\text{Cr}_3\text{O}(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)_6(\text{H}_2\text{O})_3]^+$ и хлорогенат хрома.

Каталитические свойства органических комплексов хрома находят применение в современной химии. В реакции Нозаки-Хиямы-Киши (NHK) комплексы Cr(II) выступают эффективными катализаторами кросс-сочетания [3]. В области фотокатализа комплексы Cr(III) представляют перспективную замену дорогостоящим катализаторам на основе благородных металлов.

Фотокаталитические системы на основе Cr(III) обладают рядом преимуществ: поглощение света в видимой области, длительное время жизни в возбужденном состоянии и высокая окислительно-восстановительная способность. Они успешно применяются в реакциях арилирования, алкилирования и циклизации [3].

Таким образом, органические комплексы хрома представляют значительный интерес как для биомедицинских приложений, так и для каталитического применения в органическом синтезе.

Список литературы

1. Гринвуд Н., Эрншо А. Химия элементов. Т. 2. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. С. 205–248.

2. Vincent J.B. The bioinorganic chemistry of chromium (III) //Polyhedron. 2001. Vol. 20, №1–2. P. 1–26.

3. Lin Y., Wang X., Zhang L. et al. Recent Advances in Photoactive First-Row Transition Metal Complexes for Organic Synthesis //Chinese Journal of Chemistry. 2025. Vol. 43, №19. P. 2566–2587.

© Хабутдинов Р.Р., Мухамедзянова А.А., 2026

УДК 541.49:577.11

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАРГАНЦА ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ВЫСОКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Хайруллин Т.С., Ямансарова Э.Т.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия,

Актуальность данной работы обусловлена развитием современной координационной химии и химии материалов медицинского назначения. Создание гибридных металлополимерных систем на основе эссенциальных микроэлементов – приоритетная задача биоматериаловедения. Марганец является важнейшим d-элементом, регулирующим ферментативный катализ, остеогенез и антиоксидантный статус. Однако традиционные соли марганца токсичны и имеют низкую биодоступность. Использование «умных» полимерных матриц позволяет решить эти проблемы.

Целью работы являлась систематизация сведений о биологической роли марганца, механизмов его комплексообразования с природными и синтетическими полимерами, а также оценка перспектив применения полученных металлокомплексов в фармации и биомедицине.

Способность марганца к быстрой смене валентных состояний в живых системах позволяет ему эффективно участвовать в межйонном переносе электронов, не создавая при этом критического токсического эффекта. В работе проведен сравнительный изоморфный анализ катионов магния и марганца, которые часто выступают ионами-двойниками. Обладая близкими радиусами и одинаковым октаэдрическим координационным окружением с координационным числом равным шести,

марганец обладает существенно более высокой поляризующей способностью. Это позволяет ему сильнее деформировать электронные облака субстрата в активном центре ферментов и эффективнее снижать энергию активации биохимических реакций.

В контексте жизнедеятельности животных марганец регулирует углеводный и липидный обмен, репродуктивную функцию и остеогенез [1]. Катионы марганца активируют гликозилтрансферазную сборку молекул хондроитинсульфата костной матрицы. При алиментарном дефиците этого элемента у развивается тяжелая патология – перозис, сопровождающаяся деформацией суставов и соскальзыванием сухожилий. Основная концентрация металла при этом сосредоточена в печени, костях и почках.

Важным разделом в бионеорганической химии является синтез металлополимерных соединений. Например, нативный яблочный пектин обладает низкой избирательностью к металлам [2]. Для увеличения его сорбционной емкости в структуру полимера вводятся гидразидные фрагменты, замещающие метоксилированные группы. Донорные пары азота аминогруппы и кислорода карбонильной группы замыкают с марганцем термодинамически устойчивый пятичленный металлоцикл. Наличие координационной связи экспериментально подтверждается ИК-спектроскопией – авторами доказано, что модифицированная полимерная цепь удерживает катионы марганца в четыре с половиной раза эффективнее нативного полимера.

Главная технологическая проблема макроциклических комплексов фталоцианинов марганца заключается в интенсивной самоассоциации в водных средах, из-за чего их молекулы слипаются в стопки и блокируют активность металла [3]. Внедрение водорастворимого поливинилпирролидона решает эту проблему. Полимер создает стерический защитный барьер, удерживая марганец в стабильном и высокоактивном мономерном состоянии, что подтверждается электронными спектрами поглощения.

Комплексы модифицированного пектина с марганцем предложены в качестве эффективных средств терапии сочетанных анемий. Полисахаридная капсула пектина выполняет роль пространственного протектора, предотвращая связывание ионов марганца с ингибирующими фитатами и фосфатами корма в желудочно-кишечном тракте. Это обеспечивает плавное высвобождение и адресный транспорт микроэлемента к рецепторам всасывания в тонком кишечнике [4].

Есть сведения, что интерполимерные полиэлектролитные комплексы образуются при смешивании противоположно заряженных цепей катионного хитозана и анионного пектина. Ионы марганца в этой системе выполняют функцию ионного перекрестного связывания, координируясь одновременно с обеими полимерными матрицами. Полученный гидрогель обладает высокой прилипаемостью к слизистым оболочкам и обеспечивает эффект фармакологического депо. Процесс контролируемого высвобождения марганца описан математически. Кроме того, пленочные

композиты на основе фталацианинов марганца и поливинилпирролидона при локальном облучении генерируют активные формы кислорода, обеспечивая высокую антисептическую защиту против штаммов золотистого стафилококка без использования антибиотиков [3].

Таким образом, разработка гибридных металлополимерных систем с марганцем открывает новые возможности для создания эффективных биомедицинских материалов и фармацевтических препаратов с контролируемым высвобождением активных веществ, повышенной биодоступностью и сниженной токсичностью.

Список литературы

1. Тихонов К.Г. Роль марганец-бикарбонатных комплексов в каталазной и водоокисляющей активностях фотосистемы // Дисс. на соиск. уч. степени канд. биол. наук. – 2008

2. Беслекоева Э.Д., Неелова О.В. Биологическая роль соединений марганца // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 8. – С. 222. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=27882>

3. А.В. Лобанов, С.М. Васильев, А.Б. Кононенко, Д.А. Банникова, С.В. Бритова, Е.П. Савинова, В.Н. Горшенев, Г.Е. Заиков, С.Д. Варфоломеев. Комплексы фталоцианинов железа и марганца с полимерами. Агрегационные свойства и биоцидная активность // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. - Т. 18, № 2. - С. 111-113.

4. Р.Х. Мударисова, А.Ф. Сагитова, О.С. Куковинец. Комплексообразование яблочного пектина, модифицированного фармакофорами, с катионами марганца (II) в водных растворах // Химия растительного сырья. - 2020. - №1. - С. 25-32. DOI: 10.14258/jscrpm.2020015161

© Хайруллин Т.С., Ямансарова Э.Т., 2026

УДК 577

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРОФИЛЛОВ У ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ГУМИНОВОГО ПРЕПАРАТА

Халимов М.Р., Куксо П.А.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами оказывает негативное влияние на физиологическое состояние растений и приводит к нарушению процессов фотосинтеза [1]. Одним из наиболее чувствительных показателей воздействия стрессовых факторов является содержание фотосинтетических пигментов, определяющих эффективность использования световой энергии и интенсивность образования органических веществ.

Целью работы являлось изучение влияния тяжелых металлов на содержание хлорофиллов у проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и оценка действия гуминового препарата в условиях стрессового воздействия.

В качестве объекта исследования использовали проростки пшеницы. Эксперимент включал контрольный вариант и варианты с добавлением солей кадмия (Cd), свинца (Pb), меди (Cu) и цинка (Zn), а также их сочетания с гуминовым препаратом (ГУМИ). Содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрическим методом после экстракции 96%-ным этиловым спиртом.

Установлено, что воздействие тяжелых металлов сопровождалось существенным снижением содержания хлорофиллов по сравнению с контролем. В контрольном варианте сумма хлорофиллов составила 2,47 мг/г. Наиболее выраженное снижение наблюдалось при воздействии свинца и кадмия, где данный показатель составил 0,87 и 0,97 мг/г соответственно. При воздействии меди и цинка сумма хлорофиллов снижалась до 1,15 и 1,30 мг/г.

Использование гуминового препарата способствовало частичному восстановлению содержания фотосинтетических пигментов. В вариантах Zn + ГУМИ и Cu + ГУМИ сумма хлорофиллов увеличивалась до 2,07 и 1,90 мг/г соответственно. В варианте Cd + ГУМИ содержание хлорофиллов составило 1,75 мг/г. Максимальное значение было получено в варианте «Контроль + ГУМИ» и составило 2,56 мг/г.

Полученные результаты свидетельствуют о выраженном угнетающем влиянии тяжелых металлов на фотосинтетический аппарат проростков пшеницы. Применение гуминового препарата снижало степень стрессового воздействия и способствовало сохранению содержания фотосинтетических пигментов, что указывает на его защитное действие в условиях загрязнения среды тяжелыми металлами.

Список литературы

1. Singh S, Parihar P, Singh R, Singh VP and Prasad SM (2016) Heavy Metal Tolerance in Plants: Role of Transcriptomics, Proteomics, Metabolomics, and Ionomics. *Front. Plant Sci.* 6:1143

© Халимов М.Р., Куксо П.А., 2026

УДК 54.057:546.571-36:502.174.3

БОРОГИДРИДНЫЙ И ЦИТРАТНЫЙ МЕТОДЫ СИНТЕЗА НАНОЧАСТИЦ ПЛАТИНЫ И ПАЛЛАДИЯ

Халитова Н.Г., Мурзагулова Э.И.

Уфимский университет науки и технологии, Уфа, Россия

Платина и палладий являются эффективными катализаторами в тонком органическом синтезе, фармацевтике, нефтехимии. Их стоимость и труднодоступность не позволяют использовать в большом количестве.

Поэтому важной задачей стоит повысить эффективность этих элементов за счет контроля структуры, морфологии для увеличения удельной поверхности. Неконтролируемый синтез приводит к их агрегации и снижению активности, поэтому важно научиться управлять их характеристиками.

При использовании борогидридного метода восстановителем выступает NaBH_4 [8]. Восстановление протекает при комнатной температуре, в результате которого образуются очень мелкие наночастицы: палладий – 3,8 нм, платина – 2,5-4,0 нм.

При использовании цитратного метода восстановителем и одновременно стабилизатором выступает цитрат-анион [7]. В этом случае необходимо нагревать (100°C): реакция протекает медленно в результате чего образуются однородные наночастицы палладия – 5,2 нм, платины – 3-5 нм. Ультрамалые частицы, полученные борогидридным методом, обладают максимальной долей поверхностных атомов и обеспечивают высокую начальную каталитическую активность, однако требуют дополнительных стабилизаторов (например, ПВП) из-за склонности к агрегации [8]. Цитратный метод, напротив, создаёт плотный адсорбционный слой цитрат-ионов, что придаёт частицам высокую коллоидную стабильность (до 14 дней при $+4^\circ\text{C}$) [7]. Если сравнивать эти два метода, то выбор делают исходя из конечной цели: борогидридный метод предпочтителен для максимизации удельной поверхности и начальной активности катализатора, тогда как цитратный метод обеспечивает воспроизводимость и стабильность наночастиц в ходе длительных каталитических экспериментов.

Список литературы

1. Oliveira A.E.F., Pereira A.C., Resende M.A.C., Ferreira L.F. Gold Nanoparticles: A Didactic Step-by-Step of the Synthesis Using the Turkevich Method, Mechanisms, and Characterizations // *Analytica*. – 2023. – №4. – С. 250-263.

2. Biehler E., Quach Q., Abdel-Fattah T.M. Synthesis of Platinum Nanoparticles Supported on Fused Nanosized Carbon Spheres Derived from Sustainable Source for Application in a Hydrogen Generation Reaction // *Nanomaterials*. – 2023. – Vol. 13. – № 13. – P. 1994.

© Халитова Н.Г., Мурзагулова Э.И., 2026

УДК 547.749.1

СИНТЕЗ ТРИАЗОЛИЕВЫХ СОЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ 2-ТРЕТ-БУТИЛ-3-(1H-1,2,4-ТРИАЗОЛ-1-ИЛ)-2H-ХРОМЕН-2-ОЛА

Чабанова М.М.

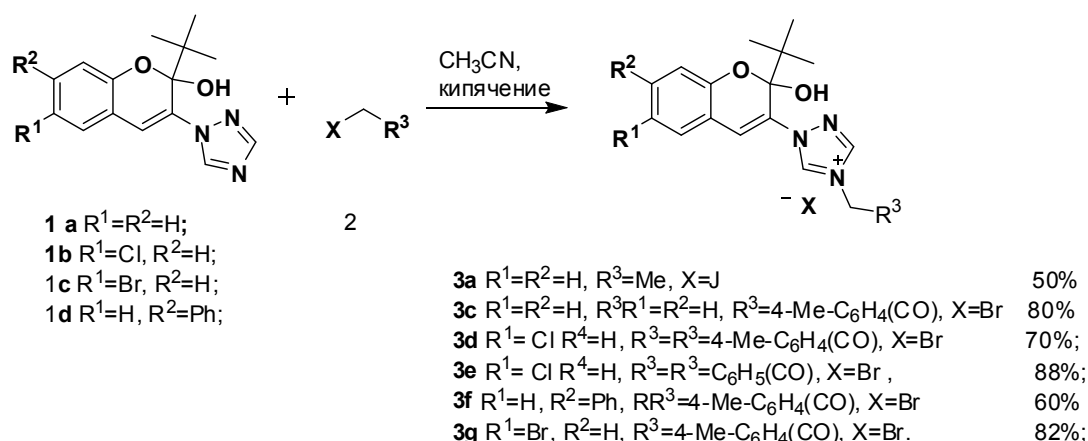
Молдавский ГУ, Институт Химии, г. Кишинёв, Молдова

Известно, что производные класса 1,2,4-триазола стабильно проявляют широкий спектр противогрибковой активности [1,2]. Соединения, содержащие фрагменты нескольких биологически активных

классов наиболее перспективны. Ранее было отмечено получение новых производных класса 2*H*-хромена, содержащих триазольный фрагмент [3]. В свою очередь натуральные и синтетические производные 2*H*-хромена представляют большой интерес для химиков-синтетиков. Некоторые соединения с хроменным скелетом хорошо зарекомендовали себя в качестве антимикробных агентов [4].

С целью расширения потенциала биологически активных производных 2*H*-хромен-2-ола исследована возможность получения солей на их основе.

Были получены соли на основе 2-*трет*-бутил-3-(1*H*-1,2,4-триазол-1-ил)-2*H*-хромен-2-ола **1a** и замещенного хромен-триазола в шестом положении (**1b-c**) и в седьмом положении **1d**. Химические структуры всех синтезированных производных были подтверждены спектральными данными (ИК, ЯМР) и данными элементного анализа. Соединение **3f** рекомендовано в качестве противогрибкового препарата для использования в сельском хозяйстве.



Получение четвертичных аммонийных солей на основе производных 2-*трет*-бутил-3-(1*H*-1,2,4-триазол-1-ил)-2*H*-хромен-2-ола

Список литературы

1. H. Shi; M. Li; Z. Zhou; A. Lu; Z. Wang. Synthesis and Biological Evaluation of Novel 1,2,4-Triazole Derivatives Containing Amino Acid Fragments. In: *Molecules*. 2025, 30(8), pp. 1692. ISSN: 0223-5234.
2. А.В. Автономова, О.В. Кисиль. Эпидемиология и механизмы устойчивости грибов рода *Aspergillus* к противогрибковым препаратам: литературный обзор. *Российский медицинский журнал*. 2025, 31(6), с. 568-578. DOI:10.17816/medjrf685079
3. Zveaghintseva M., Styngach E., Pogrebnoi S., Smetanscaia A., Valica V., Uncu L., Kravtsov V., Melnic E., Petrou A., Glamoclija J., Sokovic M., Carazo A., Mladenka P., Poroikov V., Geronikaki A., Macaev F. Chromenol derivatives as novel antifungal agents: Synthesis, in silico and in vitro evaluation. *Molecules*. 2021, 14 (26), 26144303.

4. Y. K. Al-Majedy *et al.* Coumarin–benzimidazole hybrids as a potent antimicrobial agent: synthesis and biological elevation. *The Journal of Antibiotics*. 2017, 70, p. 954–961. doi:10.1038/ja.2017.70

5. MACAEV, F. *et al.* 1-(2-*Tert*-butyl-2-hydroxy-7-phenyl-2H-chromen-3-yl)-4-(2-oxo-2-*p*-tolylethyl)-1H-1,2,4-triazole-4-ium bromide exhibiting antifungal properties against *Fusarium culmorum*. Patent MD 4929(C1).

© Чабанова М.М., 2026

УДК 544.7

УГЛЕРОДНЫЕ ВОЛОКНА С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Якупов М.Р., Галлямова Р.Ф.

Уфимский институт химии УфИХ УФИЦ РАН,

Развитие современной промышленности диктует необходимость в новых материалах с определёнными свойствами. Среди таких материалов особое место занимают композиционные материалы, армированные углеродными волокнами [1]. Они востребованы в авиационной, космической и ракетной отраслях, а также активно внедряются в медицину благодаря легкости, прочности и биосовместимости. Из таких композитов изготавливают ортопедические изделия, протезы конечностей, имплантаты, системы доставки лекарств, эндопротезы коленного и тазобедренного суставов, компоненты для тканевой инженерии и медицинское оборудование [1].

Целью работы являлось модифицирование поверхности углеродных волокон путем окисления поверхности и нанесения оксидного слоя по золь-гель технологии. В процессе окисления на поверхности формируются функциональные группы, которые способствуют улучшению адгезии как с покрытием, так и в композите. Методом погружения и электрохимического осаждения на поверхность волокон наносились оксидные покрытия на основе Si и Al, которые имеют разную структуру и толщину. Химическая модификация углеродных волокон показала, что такая обработка обеспечивает высокую адсорбционную способность и имеет перспективы для применения в качестве сорбционных материалов.

Список литературы

1. Gulyaev N. The use of carbon-fiber-reinforced plastics in medicine: a review // *Polymer Science, Series D*. 2024. T. 17. С. 958–963. DOI: 10.1134/S199542122470165X

© Якупов М.Р., Галлямова Р.Ф., 2026

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЖАРОСТОЙКИХ
КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПИРОФИЛЛИТА
ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ПЕЧЕЙ СЖИГАНИЯ ОТХОДОВ

Янмурзина Г.И., Фаздалова И.Р., Ахметшин Б.С.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Эксплуатация печей, предназначенных для термической нейтрализации осадков сточных вод и нефтешламов, сопряжена с экстремальными условиями, которые приводят к интенсивной деградации внутренней огнеупорной облицовки. Футеровка таких агрегатов подвергается комплексному разрушающему воздействию: циклическим термическим ударам, химической агрессии расплавленных зол и шлаков, абразивному износу под действием движущихся газовых потоков и механическим нагрузкам от веса кладки. Традиционные шамотные изделия, широко применявшиеся ранее, в подобных условиях демонстрируют недостаточную стойкость, что вынуждает проводить частые ремонты и ведет к значительным экономическим потерям. В связи с этим актуальной научно-технической задачей становится создание новых жаростойких материалов, способных длительно работать в агрессивных средах при высоких температурах без существенной потери прочностных и геометрических характеристик. [1, 2]

Перспективным направлением решения данной проблемы является использование природного минерального сырья - пирофиллита, добываемого на месторождении Куль-Юрт-Тау. Этот минерал обладает уникальными термическими свойствами: при нагреве он расширяется в направлении, перпендикулярном кристаллографической оси c , что компенсирует усадку глинистой связки и обеспечивает низкий суммарный коэффициент термического расширения изделий. На основе пирофиллитового сырья был разработан новый класс керамических композитов. Технологический процесс включал дробление исходной породы, тонкий помол до состояния порошка с заданной дисперсностью и последующее введение в шихту высокоогнеупорных компонентов - электрокорунда и оксида алюминия, а также неорганического связующего. Варьирование соотношения компонентов и режимов обжига позволило выявить оптимальный состав, характеризующийся максимальным содержанием корундовой фазы. После высокотемпературной обработки при 1200 °С данный композит демонстрирует прочность на сжатие порядка 230 МПа, что значительно превышает показатели традиционных шамотных материалов. Особое значение имеет крайне низкий коэффициент линейного термического расширения, составляющий $2,6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ при 1000 °С. Столь малая величина термического расширения свидетельствует о высокой размерной стабильности материала, его способности противостоять термическим ударам без образования трещин и отслоений.

Эти свойства делают разработанный композит исключительно перспективным для применения в качестве футеровки печей, сжигающих влажные и высокозольные отходы, где термомеханическая усталость является основным фактором разрушения кладки.

Достоверная оценка работоспособности подобных жаростойких материалов невозможна без применения точных методов высокотемпературных испытаний. Ключевым параметром, определяющим поведение керамических композиций в рабочих условиях, является их высокотемпературная деформация, включающая термическое расширение, ползучесть под нагрузкой и усадку при спекании. Для определения этих характеристик была разработана специализированная однопозиционная испытательная установка, позволяющая проводить исследования образцов без предварительного обжига при температурах до 1550 °С и нагрузках на сжатие до 5 МПа. Конструктивно установка включает высокотемпературную печь, толкатель из корунда или карбида кремния, передающий деформацию образца на преобразователь перемещений, а также программно-аппаратный комплекс обработки сигналов. Применение датчиков линейных перемещений индуктивного или лазерного типа обеспечивает точность регистрации деформации до 1 мкм, что критически важно для корректного определения малых величин термического расширения. [1]

На ранних этапах эксплуатации подобных установок возникал ряд существенных трудностей методического и организационного характера. Проведение эксперимента требовало непрерывного ручного контроля температуры, фиксации времени и величины деформации, а также визуального наблюдения за состоянием образца через смотровое устройство. Такой подход не только повышал трудоемкость исследований, но и создавал риск возникновения субъективных ошибок, а также подвергал персонал воздействию высоких температур в «горячей зоне». Для устранения этих недостатков был разработан комплекс программных средств автоматизированного управления испытательной установкой. Созданное программное обеспечение обеспечивает точное поддержание заданного температурного профиля с регулируемой скоростью нагрева, автоматическую выдержку при целевых температурах, непрерывную регистрацию показаний датчиков с привязкой к временным меткам и сохранение данных в текстовые файлы для последующей обработки. Отображение текущих параметров в графическом виде на экране монитора позволяет оператору дистанционно управлять процессом и отслеживать изменение размеров образца в реальном времени, находясь вне зоны воздействия высоких температур. Автоматизация испытаний существенно повысила воспроизводимость результатов, исключила влияние человеческого фактора и обеспечила возможность проведения сложных термоциклических режимов с обработкой больших массивов экспериментальных данных. [3]

Совокупность полученных результатов - как в области разработки новых материалов, так и в области совершенствования методов их испытаний = создает надежную научно-техническую базу для прогнозирования долговечности футеровки промышленных печей. Низкое термическое расширение пиррофиллит-корундовых композитов в сочетании с высокой прочностью позволяет существенно увеличить межремонтный интервал агрегатов для сжигания осадков сточных вод и нефтешламов. Внедрение автоматизированных систем контроля деформационных свойств обеспечивает оперативную оценку качества выпускаемых огнеупорных изделий и оптимизацию их состава на этапе научно-исследовательских работ. Дальнейшее развитие данного направления связано с изучением поведения композитов в реальных коррозионных средах, характерных для продуктов сжигания конкретных видов отходов, а также с масштабированием лабораторных технологий до уровня промышленного производства.

Список литературы

1. ГОСТ Р 57744-2017. Композиты керамические. Метод определения линейного термического расширения. - М.: Стандартинформ, 2017. - 12 с.
2. Иванов А.В., Петров С.Н. Автоматизированная установка для испытаний керамики на ползучесть до 1600°C // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2020. — №5. — С. 42-47.
3. Зайнуллин Р.Ф., Гайнутдинов Р.К. Высокотемпературное расширение и ползучесть пиррофиллитовой керамики // Неорганические материалы. — 2021. — Т. 57. — №4. — С. 412-418.

© Янмурзина Г.И., Фаздалова И.Р., Ахметшин Б.С., 2026

УДК 666.76:502.17

РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПИРОФИЛЛИТА ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ПЕЧЕЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД И НЕФТЕШЛАМОВ

Янмурзина Г.И., Фаздалова И.Р., Ахметшин Б.С.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Термическая обработка и последующие физико-механические испытания выявили явную зависимость прочности от фазового состава. Наибольшие прочностные характеристики продемонстрировал состав без замены оксида алюминия на пиррофиллит: после обжига при 1200 °С его прочность на сжатие достигла рекордных для данного класса материалов 230 МПа. Остальные смеси, содержащие повышенное количество пиррофиллита, показали более низкие, но все равно высокие значения прочности (от 100 до 185 МПа) уже после обжига при относительно низких температурах 800–900 °С. Это подтверждает эффективность применения неорганических связей для низкотемпературного синтеза.

Особый интерес представляют данные по термическому расширению оптимального состава: при нагреве от 100 до 1000 °С коэффициент линейного термического расширения (КТЛР) закономерно снижался с 4,6 до $2,6 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Столь низкие значения КТЛР в рабочем диапазоне температур свидетельствуют о высочайшей размерной стабильности материала и его способности сопротивляться резким перепадам температур без образования магистральных трещин, что является ключевым фактором долговечности футеровки вращающихся печей. [1,2]

Для дальнейшего повышения коррозионной стойкости в условиях агрессивных сред, характерных для сжигания сернистых и хлорсодержащих нефтешламов, было решено модифицировать композицию за счет введения добавок диоксида циркония (ZrSiO_4). Целью данного этапа исследования стало сравнение коррозионной и термической стойкости экспериментальных композитов на основе пиррофиллита и муллита с добавками циркона (от 5 до 15 мас.%) применительно к условиям футеровки печей нейтрализации. Образцы спекали при температуре 1250°С. Коррозионные испытания проводились в жестких условиях: кипячение образцов в 20% растворе серной кислоты (H_2SO_4) и 10% растворе гидроксида натрия (NaOH) в течение 100 часов, что имитирует многолетнее воздействие агрессивных шлаковых расплавов и газовых конденсатов [2]. Термостойкость оценивалась методом водяных закалок: циклический нагрев до 1100°С с последующим резким охлаждением в воде температурой 20°С до момента появления визуальных трещин или падения прочности.

Результаты испытаний композиций, модифицированных цирконом, превзошли ожидания. Оптимальным было признано введение 10 мас.% ZrSiO_4 . Рентгенофазовый анализ показал, что после спекания такой композит состоит из высокостойкого муллита и частично сохранившегося инертного циркона, который выступает в роли химического барьера. Потеря массы композита в кипящей серной кислоте составила всего 1,2%, тогда как для традиционного шамота этот показатель достигал катастрофических 8,7%. В щелочной среде (NaOH) потеря массы композита составила 0,9% против 6,2% у шамота [3]. Микроструктурный анализ поверхностей, подвергшихся коррозии, выявил, что глубинное проникновение кислоты в объем материала отсутствует: основное разрушение и образование новых фаз локализовано исключительно в тонком поверхностном слое толщиной до 150 мкм, который в дальнейшем выполняет роль защитного пассивирующего барьера для остального объема футеровки.

Показатели термостойкости также продемонстрировали высокую эффективность разработанного материала. Композит с 10% ZrSiO_4 выдержал 32 цикла резких термоударов, в то время как контрольные образцы из шамотного кирпича разрушались уже на 12-м цикле. При этом прочность на сжатие исходного композита составляла 78 МПа, а после 20 циклов термоударов снизилась незначительно - до 68 МПа (падение

составило лишь 13%). Это подтверждает отличную вязкость разрушения и способность микроструктуры компенсировать термические напряжения.

Таким образом, проведенные исследования доказывают высокую эффективность разработанных пиррофиллитовых керамических композитов. Применение неорганического связующего в сочетании с оптимизированным гранулометрическим составом корунда и оксида алюминия позволяет получать высокопрочные огнеупоры (до 230 МПа) при сниженной температуре спекания (1200°C), что существенно экономит энергоресурсы на этапе производства самих огнеупорных изделий. Введение добавок циркона (ZrSiO_4) обеспечивает феноменальную химическую стойкость как в кислых, так и в щелочных средах, а уникальные термические свойства пиррофиллита гарантируют устойчивость к циклическим термоударам. Внедрение данного многофункционального керамического композита в качестве футеровки для печей нейтрализации осадков сточных вод и нефтешламов позволит увеличить межремонтный период агрегатов в 2,5-3 раза, повысить экологическую безопасность процессов утилизации и обеспечить бесперебойную работу предприятий нефтеперерабатывающего комплекса.

Список литературы

1. Зайнуллин Р.Ф. Термические превращения пиррофиллита Куль-Юрт-Тау // Неорганические материалы. 2020. Т. 56. № 7. С. 755-760.
2. Абдрахманов Р.Р. Коррозия огнеупоров в кислых и щелочных средах // Огнеупоры и техническая керамика. 2019. № 2. С. 23-28.
3. Попова Н.А. Цирконсодержащие керамические композиты для футеровки печей // Стекло и керамика. 2021. № 5. С. 34-39.

© Янмурзина Г.И., Фаздалова И.Р., Ахметшин Б.С., 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Акбулатова Г.Р., Ямансарова Э.Т., Зворыгина О.Б. СИНТЕЗ КОМПЛЕКСОВ КВЕРЦЕТИНА С ЯБЛОЧНЫМ ПЕКТИНОМ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ.....	4
Алехина И.Е., Фаздалова И.Р. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ГИДРОФОБИЗАЦИИ ЩЕБНЯ ИЗ ИЗВЕСТНЯКА-РАКУШЕЧНИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	7
Атарская И.В., Ишмуратова Г.И. ИСКУССТВО ДОМАШНЕГО ВИНОДЕЛИЯ: ОТ СЕМЕЙНОГО РЕЦЕПТА К ГОТОВОМУ ПРОДУКТУ.....	10
Ахметдинова Н.П., Салихов Ш.М., Файзуллина Л.Х. ОСОБЕННОСТИ РАСКРЫТИЯ 1,6-АНГИДРОМОСТИКА ГИДРОКСИПРОИЗВОДНОГО ЛЕВОГЛЮКОЗЕНОНА ПРОПАНДИТИОЛОМ.....	14
Ахметшин К.В., Глазырин А.Б. НОВЫЙ ПОЛИМЕРНЫЙ ПРОДУКТ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.....	15
Ахметшин Б.С., Фаздалова И.Р., Файзрахманов И.С., Насретдинов Д.Р., Ахметшина А. С. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА И АГРОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАНОКОМПОЗИТОВ СЕРА/КАРБОНАТ КАЛЬЦИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ СИСТЕМ.....	17
Бейлина Н.Ю. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СЫРЬЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОКСА С РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРОЙ.....	21
Белов М.К., Мухамедзянова А.А. ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КАРБЕНОВ В СЫРЬЕ ТЕРМОПОЛИКОНДЕНСАЦИИ НА ВЫХОД И СВОЙСТВА МЕЗОФАЗНОГО ПИРОЛИЗНОГО ПЕКА.....	25
Белова А.Ю., Глазырин А.Б. СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ЛЮМИНОФОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕНВИНИЛАЦЕТАТА.....	30
Булышева Е.О., Мадиярова Г.Б. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРЕПАРАТОВ ТИМОЛОЛА С ПОМОЩЬЮ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ЭЛЕКТРОННЫЙ ЯЗЫК».....	31
Валинурова А.Р., Мурзагулова Э.И. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СИНТЕЗА ГИДРОКСИДА ДИАММИНСЕРЕБРА.....	33
Варин Д.И., Фаздалова И.Р., Ахметшин Б.С., Ахметшина А.С. ТЕПЛОСТОЙКИЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ НА ФОСФАТНЫХ СВЯЗУЮЩИХ: СВОЙСТВА, ПОВЕДЕНИЕ ПРИ НАГРЕВЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ.....	34

Варин Д.И., Фаздалова И.Р. НОВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ КЕРАМИКИ ДЛЯ ТИГЛЕЙ, ФУТЕРОВКИ ПЕЧЕЙ И ТЕРМОАГРЕГАТОВ: ОТ СЫРЬЯ ДО ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	37
Варина С.Р., Фаздалова И.Р., Яншаев Д.С. РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЖАРОСТОЙКИХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ.....	40
Варина С.Р., Фаздалова И.Р. ПИРОФИЛЛИТОВОЕ СЫРЬЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУЛЬ-ЮРТ-ТАУ КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ И ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	43
Васильев И.А., Фазлитдинова А.Г., Тюменцев В.А. ИЗМЕНЕНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПЕКОВОГО КОКСА В ПРОЦЕССЕ ГРАФИТАЦИИ.....	45
Вахитова А.Ф., Мударисова Р.Х., Минилбаев А.А. СОРБЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ ПЕКТИНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ИНДОЛОМ, ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ Mn^{2+}	48
Вахитова А.Ф., Мударисова Р.Х., Мустафин Р.А., Артемова А.А. СОРБЦИЯ ЙОДА МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ПЕКТИНАМИ И КИНЕТИКА ЕГО ВЫСВОБОЖДЕНИЯ.....	50
Власова А.И., Каримова Э.Р. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЩЕЛОЧНОГО МЕТОДА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦИНКА ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ.....	54
Воротник И.С., Максимов И.В. РОЛЬ АЦЕТИЛТРАНСФЕРАЗ ПОЛИСАХАРИДОВ В ИММУННОМ ОТВЕТЕ ПШЕНИЦЫ НА ВОЗБУДИТЕЛЯ СЕПТОРИОЗА <i>PARASTAGONOSPORA</i> <i>NODORUM</i>	56
Гареев С.М. АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ВОД РОДНИКОВ Г. БЛАГОВЕЩЕНСК.....	57
Губайдуллин С.Р., Балашов И.А., Фаздалова И.Р. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ.....	58
Губайдуллин С.Р., Фаздалова И.Р., Дельмухаметов А.А. КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ОЦЕНКЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ И ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	61
Дельмухаметов А.А., Фаздалова И.Р., Самсонов М.Р., Файзрахманов И.С., Насретдинов Д.Р. КИНЕТИКА СИНТЕЗА, КОЛЛОИДНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ И СТРУКТУРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ СЕРА/КАРБОНАТЫ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ.....	64
Дидух М.Ю., Ямансарова Э.Т., Зворыгина О.Б. ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ФЛАВОНОИДНОГО ЭКСТРАКТА ИЗ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (<i>BETULA PENDULA</i>).....	68

Дрепакова А.П., Муллағалиев И.Н. ПРОВОДИМОСТЬ СЛОЯ ПОЛИАНИЛИНА СОЗДАННАЯ МЕТОДОМ ПОЛИВА ОТ ВЛАЖНОСТИ.....	71
Жуков А.В., Ишумбаева О.Д., Фаздалова И.Р. ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ АЛЮМОФОСФАТНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ.....	73
Жуков А.В., Фаздалова И.Р., Никитина В.А. НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ТВЕРЖДЕНИЕ И ВАКУУМНОЙ ЭКСТРУЗИИ ДО КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ РАЗРУШЕНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПЕЧЕЙ.....	75
Зекиева А.Ф., Зильберг Р.А, Бикмухаметова А.Ю., Степанова П.А. РАЗРАБОТКА ДВУХФАЗНОЙ ХИРАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНОГО ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОДА И D-КАМФОРСУЛЬФОНОВОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНАНТИОМЕРОВ ТРИПТОФАНА.....	77
Зеленков А.С., Глазырин А.Б. РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ПЭТ-ОТХОДОВ.....	79
Иванова Е.С., Антонюк С.Н. ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩЕГО ГАЗА В ПРОЦЕССЕ ПАРОВОЙ КОНВЕРСИИ ЭТАНОЛА НА НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРАХ.....	80
Иващенко Д.Х., Фаздалова И.Р. ИНТЕГРИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЕНОКЕРАМИКИ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ....	81
Иващенко Д.Х., Фаздалова И.Р., Ахметшин Б.С. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ПИРОФИЛЛИТОВОГО СЫРЬЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУЛЬ-ЮРТ- ТАУ ДЛЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	85
Ившин С.С., Григорьев Р.Р., Ерлыгина М.А. ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНО ПЕРЕРАБОТАННОГО СТЕКЛОПЛАСТИКА В СОСТАВЕ НОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	88
Исанбаев И.Ф., Орлов А.В., Комиссарова Н.Г. СИНТЕЗ ГЕТЕРОАРИЛНИТРОНОВ НА ОСНОВЕ БЕТУЛОНОВОЙ КИСЛОТЫ.....	93
Ишумбаева О.Д., Яншаев Д.С., Фаздалова И.Р., Ахметшина А.С., Дельмухаметов А.А. БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НАНОКОМПОЗИТОВ СЕРА/КАРБОНАТ КАЛЬЦИЯ: ФУНГИЦИДНЫЕ СВОЙСТВА И ФИТОСТИМУЛИРУЮЩИЙ ЭФФЕКТ В ОТНОШЕНИИ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ.....	92
Канзафарова Р.Р., Куксо П.А. НИКЕЛЬ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ: СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ.....	97

Каримов Р.Р., Миннибаева Э.М., Халилова Ю.А., Файзуллина Л.Х. СИНТЕЗ α -ПИРОНОВ НА ОСНОВЕ ЛЕВОГЛЮКОЗЕНОНА.....	98
Китикова И.И., Ямансарова Э.Т. УЧАСТИЕ ГИДРОСИПАТИТОВ В ОРГАНИЗАЦИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ.....	99
Ларионова Д.Г., Зырянова С.А., Мустафина Э.З. АНТИОКИСЛИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ СПИРТОВЫХ ЭКСТРАКТОВ, ИЗВЛЕЧЕННЫХ ИЗ ПИЩЕВЫХ КУЛЬТУР.....	101
Лежнина В.О., Мухамедзянова А.А., Исканьярова Р.Г., Сагитова А.Ф., Мингалеева Г.Р. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ НИЗКО- И ВЫСОКОМЕТОКСИЛИРОВАННОГО ПЕКТИНОВ И ДИГИДРАЗИДА ЯНТАРНОЙ КИСЛОТЫ.....	103
Каримова Э.Р., Лимаренко О.В. АКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДИЗАЙН-ИНДУСТРИЯХ, СВЯЗАННЫЕ С ПОЛИМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ.....	108
Лумбунов Е.Э., Орехов А.С., Родосский К.К., Антонюк С.Н., Бейлина Н.Ю. КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА СЛАНЦЕВ.....	112
Лялько Д.Н., Куксо П.А. БАРИЙ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ: СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ.....	113
Макарова С.В., Снетов В.Н., Субботин Д.И. ОБРАЗОВАНИЕ НАНООБЪЕКТОВ В ВОДНЫХ ДИСПЕРСИЯХ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ В ВОДЕ НА ЭЛЕКТРОДНОЙ ПАРЕ Cu-Ti.....	114
Миндигулов И.Г., Глазырин А.Б. РАЗРАБОТКА ЗАЩИТНОГО ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.....	115
Минеева А.С., Муллағалиев И.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ НАПЫЛЕНИЯ ПЛЕНКИ ПОЛИИНДОЛА И ЕЕ ПРОВОДИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ.....	116
Мирзаахмедов С.Ф., Ямансарова Э.Т., Зворыгина О.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ АДсорбции ВОДОРАСТВОРИМЫХ БЕЛКОВ НИЗКОЗАМЕЩЕННЫМИ ФОСФАТАМИ ПОЛИСАХАРИДОВ.....	118
Михайлова П.Д., Антонюк С.Н., Филимонов А.С., Бейлина Н.Ю. ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ АДсорбентов ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВАЦИЕЙ КОКСА.....	122
Мичник В.С., Муллағалиев И.Н. АНАЛИЗ СПЕКТРА КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ПРОИЗВОДНОЙ ПОЛИАНИЛИНА.....	123
Мусихин Н.А., Мурзагулова Э.И. ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ВАНАДИЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ.....	124
Муфтахов В.В., Мухамедзянова А.А., Мулюкова С.М., Королев И.Н., Мингалеев В.З. СИНТЕЗ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ ХИТОЗАНА С 5-НОРБОРНЕН-2,3- ДИКАРБОНОВОЙ КИСЛОТОЙ.....	125

Нагимов Р.И., Каримова Э.Р. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАВНОВЕСИЙ В СИСТЕМЕ $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] - \text{H}_2\text{O}$ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ПРЯМОМУ СИНТЕЗУ НЕСТАБИЛЬНОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ.....	129
Насхутдинов И.И., Фаздалова И.Р., Ахметшина А.С., Ахметшин Б.С. НАНОРЕВОЛЮЦИЯ В МИРЕ КЕРАМИКИ: КАК НЕОРГАНИЧЕСКИЕ СВЯЗУЮЩИЕ МЕНЯЮТ ПРАВИЛА ИГРЫ.....	130
Насхутдинов И.И., Ахметшин Б.С., Фаздалова И.Р. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ПЕРЕДОВЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ОПИРАЮТСЯ НА ПРИНЦИПИАЛЬНО НОВЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ МАТЕРИАЛОВ НА МИКРОСКОПИЧЕСКОМ УРОВНЕ.....	133
Никитина В.А., Ахметшина А.С., Ахтямова А.Р., Фаздалова И.Р. ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПОЛЗУЧЕСТЬ КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПИРОФИЛЛИТОВОГО СЫРЬЯ С ФОСФАТНЫМИ СВЯЗУЮЩИМИ.....	136
Никитина В.А., Ахметшин Б.С., Фаздалова И.Р. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СТАБИЛИЗАЦИИ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА В ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦАХ (АДСОРБЦИЯ, ХИМИЧЕСКАЯ ИММОБИЛИЗАЦИЯ).....	140
Никитина В.А., Ахметшин Б.С., Фаздалова И.Р. ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ НА ОСНОВЕ НАНОКРИСТАЛЛОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ: САМООРГАНИЗАЦИЯ, КОНТРОЛЬ ЦВЕТА И СЕНСОРНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ.....	142
Лумбунов Е.Э., Орехов А.С., Родосский К.К., Антонюк С.Н., Бейлина Н.Ю. КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА СЛАНЦЕВ.....	143
Павлей Ю.Р., Зык Н.В., Белоглазкина Е.К., Ямансаров Э.Ю. НОВЫЕ ЛИГАНДЫ АСИАЛОГЛИКОПРОТЕИНОВОГО РЕЦЕПТОРА НА ОСНОВЕ ЖЕЛЧНЫХ КИСЛОТ: СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ.....	144
Петрова Е.Г., Лабеецкий А.Г., Рогачев А.А. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОЛИПИРРОЛ/ГАЛЛУАЗИТ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ.....	145
Попцов А.И., Казакова О.Б. ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ МОДИФИКАЦИИ ИНДОЛО-ГЛИЦИРРЕТОВОЙ КИСЛОТЫ.....	151
Порошина Е.В., Каримова Э.Р. КАРБОНАТ НАТРИЯ КАК СТРАТЕГИЧЕСКОЕ СЫРЬЁ ДЛЯ ТРАДИЦИОННЫХ И ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	153
Рукниддинов И.Ф., Куксо П.А. АККУМУЛЯЦИЯ ФЛАВОНОИДОВ В КРЕСС-САЛАТЕ (<i>Lepidium sativum</i> L.) В ОТВЕТ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ СОЛЕЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ.....	156

Самсонов М.Р., Фаздалова И.Р., Ишумбаева О.Д., Ильина М.Г. СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ПОВЕРХНОСТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ НАНОКОМПОЗИТНЫХ СИСТЕМ СЕРА/КАРБОНАТЫ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ.....	157
Самсонов М.Р., Фаздалова И.Р., Файзрахманов И.С., Насретдинов Д.Р. БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И АГРОХИМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАНОДИСПЕРСИЙ СЕРЫ И ПОЛИСУЛЬФИДА КАЛЬЦИЯ В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ И СТИМУЛЯЦИИ РОСТА КУЛЬТУР.....	159
Светачева П.А., Мухамедзянова А.А. КОБАЛЬТ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: СТРАТЕГИЧЕСКИЙ МЕТАЛЛ ХХІ ВЕКА...	163
Селезнев Е.И., Зык Н.В., Белоглазкина Е.К., Казакова О.Б., Ямансаров Э.Ю. РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОНЬЮГАТОВ УРСОЛОВОЙ, ОЛЕАНОЛОВОЙ, БЕТУЛИНОВОЙ И 18β- ГЛИЦИРРЕТИНОВОЙ КИСЛОТ И N-АЦЕТИЛ-D- ГАЛАКТОЗАМИНА ДЛЯ НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ НА ГЕПАТОЦИТЫ.....	164
Смирнова И.Е., Закирова Л.М., Волобуева А.С., Казакова О.Б. СИНТЕЗ И ОЦЕНКА ПРОТИВОГРИППОЗНОЙ АКТИВНОСТИ АМИДНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ 3-СПИРО-1,2,4-ТРИОКСОЛАНО- ЛИТОХОЛЕВОЙ КИСЛОТЫ.....	166
Сунь Имин, Белоглазкина Е.К., Финько А.В. 3-МЕТИЛ-4-НИТРО-1- ФЕНИЛ-1Н-ПИРАЗОЛ.....	169
Терес Ю.Б., Булышева Е.О., Воронова М.А. ХИРАЛЬНЫЕ СЕЛЕКТОРЫ НА ОСНОВЕ АМИНОКИСЛОТНЫХ КОМПЛЕКСОВ Cu(II) В СОСТАВЕ КОМПОЗИТНЫХ ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНЫХ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ.....	172
Тошев О.Х., Глазырин А.Б. ПОЛУЧЕНИЕ ЛЮМИНОФОРНЫХ ПВХ-ФИЛАМЕНТОВ ДЛЯ FDM 3D-ПЕЧАТИ.....	174
Тухтаев О.Ш., Ахметшин Б.С., Ахметшина А.С. ИНТЕГРИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЕНОКЕРАМИКИ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ.....	175
Тухтаев О.Ш., Фаздалова И.Р. КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ОЦЕНКЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ И ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	179
Тюренок А.В., Фаздалова И.Р., Ахметшин Б.С. ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ И ФОСФАТНЫХ СВЯЗУЮЩИХ.....	182

Тюренков А.В., Фаздалова И.Р., Ахметшин Б.С. НАНОСТРУКТУРИРОВАННАЯ ПЕНОКЕРАМИКА СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	185
Фаздалова И.Р., Ахметшина А.С., Никитина В.А., Яншаев Д.С. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ МОДИФИКАЦИИ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ИЗВЕСТНЯКА-РАКУШЕЧНИКА ПОЛИСУЛЬФИДНЫМИ КОМПОЗИЦИЯМИ.....	191
Фатхутдинова Р.В., Валиуллин И.Ф., Миннибаева Э.М., Смирнова И.Е., Thi Thu Ha. ОЦЕНКА АНТИДИАБЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОНО И БИС-АРИЛИДЕНОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ХОЛЛОНГИДИОНА.....	194
Хабутдинов Р.Р., Мухамедзянова А.А. ОРГАНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ХРОМА: БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ И КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ.....	197
Хайруллин Т.С., Ямансарова Э.Т. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАРГАНЦА ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ВЫСОКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ.....	198
Халимов М.Р., Куксо П.А. ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРОФИЛЛОВ У ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ГУМИНОВОГО ПРЕПАРАТА.....	200
Халитова Н.Г., Мурзагулова Э.И. БОРОГИДРИДНЫЙ И ЦИТРАТНЫЙ МЕТОДЫ СИНТЕЗА НАНОЧАСТИЦ ПЛАТИНЫ И ПАЛЛАДИЯ.....	201
Чабанова М.М. СИНТЕЗ ТРИАЗОЛИЕВЫХ СОЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ 2-ТРЕТ-БУТИЛ-3-(1H-1,2,4-ТРИАЗОЛ-1-ИЛ)-2H- ХРОМЕН-2-ОЛА.....	202
Якупов М.Р., Галлямова Р.Ф. УГЛЕРОДНЫЕ ВОЛОКНА С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ.....	204
Янмурзина Г.И., Фаздалова И.Р., Ахметшин Б.С. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЖАРОСТОЙКИХ КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПИРОФИЛЛИТА ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ПЕЧЕЙ СЖИГАНИЯ ОТХОДОВ.....	205
Янмурзина Г.И., Фаздалова И.Р., Ахметшин Б.С. РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПИРОФИЛЛИТА ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ПЕЧЕЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД И НЕФТЕШЛАМОВ.....	208

При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat – текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор.

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Научное издание

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

*Материалы тезисов
XIII Международной молодежной
научно-практической конференции (г. Уфа, 16–17 июня 2026 г.)*

Научное электронное издание сетевого доступа

*За достоверность информации, изложенной в статьях,
ответственность несут авторы.*

Статьи публикуются в авторской редакции

Подписано к использованию 16.07.2026 г.
Гарнитура «Times New Roman». Объем 11,4 Мб.
Заказ 190.

*ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
450008, Башкортостан, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12.*

Тел.: +7-908-35-05-007
e-mail: red@uust.ru