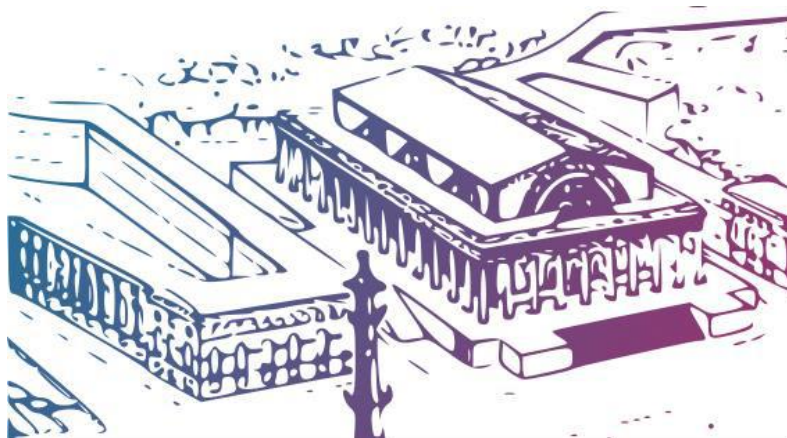


ПРОГРАММА И ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ О ПОЛИМЕРАХ

Всероссийская конференция с международным участием

**13 – 17 ноября 2023 г.,
Санкт-Петербург, Россия**

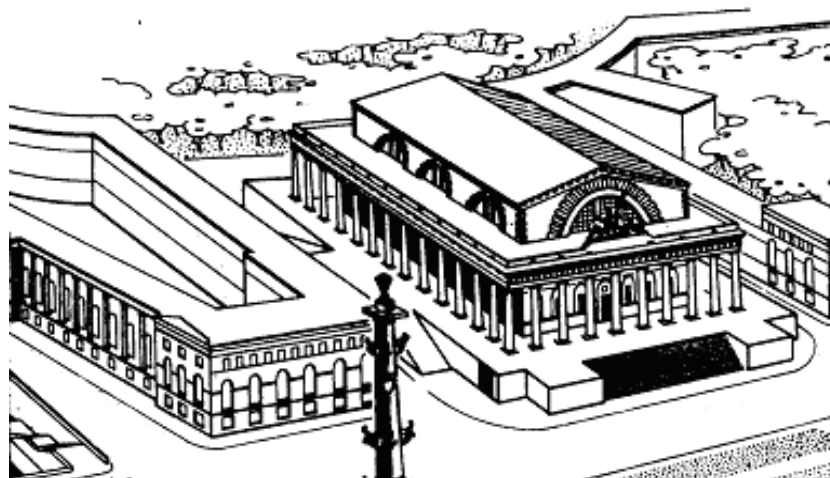
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ИНСТИТУТ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ О ПОЛИМЕРАХ



**Программа и тезисы докладов
Всероссийской конференции с международным участием**

**13 – 17 ноября 2023 г.,
Санкт-Петербург, Россия**

Организаторы

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»**



**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЕ
ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК**



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК**



**ИНСТИТУТ
ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК**



СЕРВИС-АГЕНТ КОНФЕРЕНЦИИ



Организационный комитет

А.В. Якиманский (председатель)

С.В. Ларин (зам. председателя)

А.С. Иванова (учёный секретарь)

Программный и научный комитет

М.Я. Гойхман

Т.Ю. Кирилэ

Е.Г. Коржикова-Влах

М.Л. Левит

А.А. Полоцкий

М.А. Симонова

М.А. Степанова

А.П. Филиппов

Локальный комитет

А.Н. Блохин

А.Н. Бокатый

М.С. Борисенко

И.В. Волгин

В.К. Воробьев

А.Ю. Добровский

Е.Н. Дубров

И.В. Иванов

К.И. Каскевич

А.В. Кашина

Н.Д. Козина

И.В. Кунцман

А.Л. Николаева

К.С. Полотнянщиков

С.В. Родченко

А.В. Смирнова

А.А. Якиманский

РАСПИСАНИЕ

Понедельник, 13 ноября			
9:15 – 9:30	Открытие конференции		
9:30 – 11:20	Пленарные и приглашённые доклады		
11:20 – 11:50	Кофе-брейк		
11:50 – 13:30	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i></td> </tr> </table>	<i>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</i>	<i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i>
<i>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</i>	<i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i>		
13:30 – 14:30	Перерыв на обед		
15:00 – 16:50	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Секция 3. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</i></td> </tr> </table>	<i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i>	<i>Секция 3. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</i>
<i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i>	<i>Секция 3. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</i>		
16:50 – 17:00	Кофе-брейк		
17:00 – 18:30	Стендовая сессия (Секции 1 и 3)		
19:00 – 23:00	WELCOME PARTY, Набережная реки Мойки, д. 37 (Вход с набережной реки Мойки, 2 мин. от Эрмитажа)		

Вторник, 14 ноября			
9:30 – 11:00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</i></td> </tr> </table>	<i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i>	<i>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</i>
<i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i>	<i>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</i>		
11:00 – 11:30	Кофе-брейк		
11:30 – 13:00	Пленарные и приглашённые доклады		
13:00 – 14:00	Перерыв на обед		
14:30 – 16:00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Секция 3. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i></td> </tr> </table>	<i>Секция 3. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</i>	<i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i>
<i>Секция 3. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</i>	<i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i>		
16:00 – 16:30	Кофе-брейк		
16:30 – 18:30	Стендовая сессия (Секции 1 и 3)		

Среда, 15 ноября			
9:30 – 11:10	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Секция 4. Теория и компьютерное моделирование</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i></td> </tr> </table>	<i>Секция 4. Теория и компьютерное моделирование</i>	<i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i>
<i>Секция 4. Теория и компьютерное моделирование</i>	<i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i>		
11:10 – 11:30	Кофе-брейк		
11:30 – 13:00	Пленарные и приглашённые доклады		
13:00 – 14:00	Перерыв на обед		
14:30 – 16:20	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</i></td> </tr> </table>	<i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i>	<i>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</i>
<i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i>	<i>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</i>		
16:20 – 16:40	Кофе-брейк		
16:40 – 18:30	Стендовая сессия (Секции 2 и 4)		

Четверг, 16 ноября		
9:30 – 11:10	<i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i>	<i>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</i>
11:10 – 11:30	Кофе-брейк	
11:30 – 13:00	Пленарные и приглашённые доклады	
13:00 – 14:00	Перерыв на обед	
14:30 – 16:20	<i>Секция 3. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</i>	<i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i>
16:20 – 16:30	Кофе-брейк	
16:30 – 17:30	Стендовая сессия (Секция 2)	
18.00	Банкет (В.О. Большой пр. 31, Конференц-зал ИВС РАН, 5 этаж)	

Пятница, 17 ноября		
9:30 – 11:00	<i>Секция 3. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</i>	<i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</i>
11:00 – 11:30	Кофе-брейк	
11:30 – 12:50	<i>Секция 3. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</i>	<i>Секция 4. Теория и компьютерное моделирование</i>
12:50 – 13:20	Кофе-брейк	
13:30 – 14:00	Закрытие конференции	

НАУЧНАЯ ПРОГРАММА

Понедельник, 13 ноября		
Пленарные и приглашённые доклады		Большой зал СПбНЦ
Председатель: <u>А.В. Якиманский</u>		
9-30 – 10-05	<u>Трофимук Д.В., Гульник М.И., Костюк С.В.</u> ФОТОИНИЦИИРУЕМАЯ И ФОТОКОНТРОЛИРУЕМАЯ КАТИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ	PL-01
10-05 – 10-40	<u>Черникова Е.В.</u> МОЛЕКУЛЯРНОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ	PL-02
10-40 – 11-00	<u>Почивалов К.В., Баско А.В., Ильясова А.Н., Лебедева Т.Н., Бронников С.В.</u> К ВОПРОСУ О ТОПОЛОГИИ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ ЧАСТИЧНО КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ПОЛИМЕР – РАСТВОРИТЕЛЬ – ОСАДИТЕЛЬ	P-01
11-00 – 11-20	<u>Ретивов В.М.</u> НИЦ КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ - ВЕДУЩИЙ МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЙ ЦЕНТР РОССИИ	
Секция 1. Синтез и модификация полимеров		
Председатель: <u>С.В. Костюк</u>		Большой зал СПбНЦ
11-50 – 12-00	<u>Гришин И.Д., Пронина Ю.С., Зуева Е.И., Гуляева О.С.</u> КОНТРОЛИРУЕМАЯ РАДИКАЛЬНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ АКРИЛОНИТРИЛА ПО МЕХАНИЗМУ AGET ATRP	1-O-01
12-00 – 12-10	Калганова С.Г., <u>Кадыкова Ю.А.</u> СВЧ МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	1-O-02
12-10 – 12-20	<u>Бурдуковский В.Ф., Холкоев Б.Ч., Бардакова К.Н., Матвеева З.А., Коркунова О.С., Никишина А.Н., Тимашев П.С.</u> ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИОННЫХ МЕТОДОВ 3D-ПЕЧАТИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОСТОЙКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ	1-O-03
12-20 – 12-30	<u>Берштейн В.А., Якушев П.Н.</u> ВЫСОКОТЕРМОСТОЙКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ НАНО- И СУБНАНО-КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ СЕТОК: СТРУКТУРА И СВОЙСТВА	1-O-04
12-30 – 12-40	<u>Никитин А.Н.</u> ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ В ИССЛЕДОВАНИИ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ АКРИЛАТОВ	1-O-05
12-40 – 12-50	<u>Денисова Ю.И., Аджиева О.А., Роечко А.В., Кудрявцев Я.В.</u> СИНТЕЗ ПРИВИТЫХ ГОМО- И СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ЦИКЛООКТЕНА И МОНОЗАМЕЩЕННЫХ ЭТИЛЕНГЛИКОЛЕЙ	1-O-06
12-50 – 13-00	<u>Бугров А.Н., Васильев Б.В., Смыслов Р.Ю., Попова Е.Н., Ваганов Г.В., Смирнова В.Е., Рунов В.В., Кудряш М.Н.</u> РАЗРАБОТКА МАГНИТОАКТИВНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИБЛОЧНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ И НАНОЧАСТИЦ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА	1-O-07
13-00 – 13-10	<u>Чамкина Е.С., Чамкин А.А., Сухова Е.А., Шифрина З.Б.</u> СИНТЕЗ РЕДОКС-АКТИВНЫХ ФЕРРОЦЕНСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИФЕНИЛЕНОВЫХ ДЕНДРИМЕРОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СЕНСОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	1-O-08
13-10 – 13-20	<u>Чичева П.А., Левченко К.С., Демин Д.Ю.</u> ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БЕНЗОЦИКЛОБУТЕНА И АКТИВНЫХ ДИЕНОФИЛОВ	1-O-09

13-20 – 13-30	<u>Карпов С.В., Джалмуханова А.С., Бадамшина Э.Р.</u> СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОДОДИСПЕРСИОННЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ НА ОСНОВЕ НЕПОЛНОГО НИТРАТА БЕТА-ЦИКЛОДЕКСТРИНА – ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	1-О-10
Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов Председатель: <u>Т.Ю. Кирилэ</u>		
Малый зал СПбНЦ		
11-50 – 12-00	<u>Возняковский А.А., Возняковский А.П., Подложюк Н.Д., Кидалов С.В., Титова С.И.</u> ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА СИНТЕЗИРОВАННОГО В УСЛОВИЯХ СВС ПРОЦЕССА В КАЧЕСТВЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ ПРИ СОЗДАНИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ	2-О-01
12-00 – 12-10	<u>Кузнецова Е.В., Седуш Н.Г., Пучкова Ю.А., Пучков А.А., Чвалун С.Н.</u> «УПРАВЛЯЕМАЯ» САМООРГАНИЗАЦИЯ БИОСОВМЕСТИМЫХ АМФИФИЛЬНЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МИЦЕЛЛЯРНЫХ СТРУКТУР С ЗАДАННЫМИ СВОЙСТВАМИ	2-О-02
12-10 – 12-20	<u>Горбунова Е.А., Шутов В.В.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛИБЕНЗОКСАЗИНА НА ОСНОВЕ 4,4'-ДИАМИНОДИФЕНИЛМЕТАНА	2-О-03
12-20 – 12-30	<u>Волгина Е.А., Герасимов Д.И.</u> ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ НА ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННЫЕ ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ПЛЕНКАХ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА	2-О-04
12-30 – 12-40	<u>Карпова Е.А., Медынская А.В., Заргарагоян Г.А., Солдатов М.А.</u> ИЗУЧЕНИЕ АДсорбЦИОННО-ДЕсорбЦИОННЫХ СВОЙСТВ РАЗЛАГАЕМЫХ МЕЗОПОРИСТЫХ ГИБРИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ	2-О-05
12-40 – 12-50	<u>Соловьёва Я.В., Смирнов С.В., Кузнецов В.А., Власов И.А., Пестов А.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ СОПОЛИМЕРА L-ЛАКТИДА И ε-КАПРОЛАКТОНА	2-О-06
12-50 – 13-00	<u>Гурьева С.А., Марихин В.А., Власова Е.Н.</u> ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ПОЛИМОРФИЗМ ДЛИННОЦЕПОЧЕЧНЫХ Н-АЛКАНОВ РАЗНОЙ ЧЁТНОСТИ	2-О-07
13-00 – 13-10	<u>Гостева А.А., Симонова М.А., Павлов Г.М.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРОВ АМФИФИЛЬНЫХ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ N-МЕТИЛ-N-ВИНИЛАЦЕТАМИДА МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ И СВЕТОРАССЕЯНИЯ	2-О-08
13-10 – 13-20	<u>Часовских А.А., Морозов О.С., Терехов В.Е.</u> ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ АКТИВНЫХ РАЗБАВИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ФТАЛОНИТРИЛЬНЫХ СМОЛ И ПОЛИМЕРОВ НА ИХ ОСНОВЕ	2-О-09
13-20 – 13-30	<u>Коновалов Д.С., Зуев В.В.</u> ПОЛИУРЕТАНОВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДАМИ ЗЕЛЕННОЙ ХИМИИ	2-О-10
Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов Председатель: <u>А.П. Филиппов</u>		
Большой зал СПбНЦ		
15-00 – 15-10	<u>Пахомов П.М., Хижняк С.Д., Галицын В.П.</u> ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ВОЛОКНА ИЗ СВМПЭ И ЭФФЕКТИВНЫЕ БАКТЕРИЦИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ L-ЦИСТЕИНА И СОЛЕЙ СЕРЕБРА, ПОЛУЧАЕМЫЕ МЕТОДАМИ ГЕЛЬ-ТЕХНОЛОГИИ	2-О-11
15-10 – 15-20	<u>Сидоров О.И., Пильченко В.А., Бочкова Т.В., Жестерев Д.В., Плешаков Д.В., Шангарович В.П.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ТЕРМОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ УРЕТАНСОДЕРЖАЩЕГО КАУЧУКА И ПОЛИФОСФАТА МЕЛАМИНА	2-О-12
15-20 – 15-30	<u>Гайдукова Л.В., Большунова Е.А., Котелкова Е.О.</u> ВЗАИМОСВЯЗЬ СМАЧИВАЕМОСТИ И НАБУХАНИЯ РЕЗИН НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА	2-О-13

15-30 – 15-40	<u>Никулова У.В., Чалых А.Е.</u> ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ И ДИФфуЗИЯ В СМЕСЯХ ПОЛИСТИРОЛА С ПОЛИАКРИЛАТАМИ И СОПОЛИМЕРАМИ СТИРОЛА И АКРИЛАТОВ	2-О-14
15-40 – 15-50	<u>Шелковников В.В.</u> РАЗВИТИЕ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В НИОХ СО РАН	2-О-15
15-50 – 16-00	<u>Шиянова К.А., Торкунов М.К., Гудков М.В., Рывкина Н.Г., Мельников В.П.</u> ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ С СЕГРЕГИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ, НАПОЛНЕННЫЕ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОМАТЕРИАЛАМИ	2-О-16
16-00 – 16-10	<u>Виндижева А.С., Хаширов А.А., Слонов А.Л., Жанситов А.А., Хаширова С.Ю.</u> ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНОГО МАГНЕТИТА НА СВОЙСТВА ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФОНА	2-О-17
16-10 – 16-20	<u>Доммес О.А., Окатова О.В., Павлов Г.М.</u> ПОВЕДЕНИЕ МАКРОМОЛЕКУЛ СОПОЛИМЕРОВ ВИНИЛФОРМАМИД-СТИРОЛСУЛЬФОНАТ НАТРИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ СОСТАВА И ИОННОЙ СИЛЫ РАСТВОРА	2-О-18
16-20 – 16-30	<u>Акбаров Х.И., Каттаев Н.Т.</u> НОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ: СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ	2-О-19
16-30 – 16-40	<u>Харитонова В.Г., Куприянова Д.В.</u> СВОЙСТВА И ПОЛУЧЕНИЕ ПРОДУКТОВ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ АДДУКТОВ ЭТИЛ-2-ЦАИАНАКРИЛАТА СО СПИРТАМИ ПО ДВОЙНОЙ СВЯЗИ	2-О-20
16-40 – 16-50	<u>Подзорова М.В., Тертышная Ю.В., Монахова Т.В., Варьян И.А.</u> ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СМЕСЕЙ ПОЛИЛАКТИД-НАТУРАЛЬНЫЙ КАУЧУК В ПРОЦЕССЕ ТЕРМООКИСЛЕНИЯ	2-О-21
Секция 3. Биополимеры и полимеры медицинского назначения <i>Малый зал СПбНЦ</i> Председатель: <u>Е.Г. Коржикова-Влах</u>		
15-00 – 15-10	<u>Молчанов В.С., Глухова С.А., Филиппова О.Е.</u> ГИДРОГЕЛИ АЛЬГИНАТА, СОДЕРЖАЩИЕ ТРЕХМЕРНУЮ СЕТКУ НАНОТРУБОК ГЛИНЫ, ДЛЯ 3Д ПЕЧАТИ	3-О-01
15-10 – 15-20	<u>Громовых Т.И., Архарова Н.А., Садыкова В.С., Васильков А.Ю., Клечковская В.В.</u> ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТОВ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ: ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МЕДИЦИНЕ	3-О-02
15-20 – 15-30	<u>Дубашинская Н.В., Скорик Ю.А.</u> КОНЬЮГАТЫ КОЛИСТИНА С ПОЛИСАХАРИДАМИ: СИНТЕЗ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ	3-О-03
15-30 – 15-40	<u>Акентьев А.В., Носков Б.А.</u> ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСИЙ ФИБРИЛЛ БЫЧЬЕГО СЫВОРОТОЧНОГО АЛЬБУМИНА	3-О-04
15-40 – 15-50	<u>Быков А.Г., Панаева М.А., Михайлов А.В., Носков Б.А.</u> ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАТИОННЫХ СОПОЛИМЕРОВ С НАНЕСЕННЫМИ МОНОСЛОЯМИ ЛЕГОЧНЫХ ЛИПИДОВ	3-О-05
15-50 – 16-00	<u>Шагдарова Б.Ц., Коновалова М.В., Полтавцева Р.А., Свирщевская Е.В.</u> ВЛИЯНИЕ ХИТОЗАНА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ НА АДИПОГЕННУЮ ДИФФЕРЕНЦИРОВКУ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК	3-О-06
16-00 – 16-10	<u>Исаков Н.А., Белоусов М.В., Нижников А.А., Носков Б.А.</u> НАНЕСЕННЫЕ СЛОИ АМОРФНЫХ АГРЕГАТОВ КУПИНА-1.1 НА ПОВЕРХНОСТИ ЧИСТОЙ ВОДЫ И РАСТВОРА МОЧЕВИНЫ	3-О-07
16-10 – 16-20	<u>Соломаха О.А., Степанова М.А., Гофман И.В., Сердобинцев М.С., Нашекина Ю.А., Виноградова Т.И., Коржиков-Влах В.А., Коржикова Влах Е.Г.</u> ТРЕХМЕТРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАКРОПОРИСТЫЕ МАТРИЦЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИКАПРОЛАКТОНА И НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ОЛИГОМЕРАМИ ГЛУТАМИНОВОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ ОСТЕОПЛАСТИКИ	3-О-08
16-20 – 16-30	<u>Литвинов М.Ю., Подшивалов А.В., Кашурин А.И.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА И pH СРЕДЫ НА ПРОЦЕСС СЛОЖНОЙ КОАЦЕРВАЦИИ И ГЕЛЕОБРАЗОВАНИЕ СТРУКТУР (БИО)ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ХИТОЗАН/ЖЕЛАТИН	3-О-09

16-30 – 16-40	<u>Варьян И.А., Попов А.А.</u> СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ С ДОБАВЛЕНИЕМ ПРИРОДНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ	3-О-10
17-00 – 18-30	СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ Секция 1. Синтез и модификация полимеров: 1-Р-01 – 1-Р-25 Секция 3. Биополимеры и полимеры медицинского назначения: 3-Р-01 – 3-Р-24	
19-00 – 23-00	WELCOME PARTY, Набережная реки Мойки, д. 37 (Вход с набережной реки Мойки, 2 мин. от Эрмитажа)	

Вторник, 14 ноября

Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов

Большой зал СПбНЦ

Председатель: Р.Ю. Смыслов

09-30 – 09-40	<u>Тамеев А.Р.</u> ПОЛИМЕРЫ В ПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ	2-0-22
09-40 – 09-50	<u>Неверовская А.Ю.</u> , Возняковский А.П., Цыпкина И.М. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНЫХ КАУЧУКОВ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК	2-0-23
09-50 – 10-00	<u>Анохин Д.В.</u> , Горбунова М.А., Абукаев А.Ф., Иванов Д.А. ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МОРФОЛОГИИ МУЛЬТИБЛОЧНЫХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ	2-0-24
10-00 – 10-10	<u>Суханова Т.Е.</u> , Светличный В.М., Вылегжанина М.Э., Диденко А.Л., Гофман И.В., Лапицкая В.А., Чижик С.А., Лебедев Н.В. МОРФОЛОГИЯ, ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИУРЕТАНИМИДНЫХ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВ И НАНОКОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ	2-0-25
10-10 – 10-20	<u>Павлов Г.М.</u> СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	2-0-26
10-20 – 10-30	<u>Холхоев Б.Ч.</u> , Бардакова К.Н., Матвеев З.А., Епифанов Е.О., Ефремов Ю.М., Тимашев П.С., Бурдуковский В.Ф. «УМНЫЕ» МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИБЕНЗИМИДАЗОЛОВ	2-0-27
10-30 – 10-40	<u>Кирилэ Т.Ю.</u> , Козина Н.Д., Теньковцев А.В., Филиппов А.П. ПОЛИ-2-ИЗОПРОПИЛ-2-ОКСАЗОЛИН. КОНФОРМАЦИЯ МАКРОМОЛЕКУЛ, САМООРГАНИЗАЦИЯ В РАСТВОРАХ И СОЛЮБИЛИЗАЦИЯ ГИДРОФОБНЫХ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЕЩЕСТВ	2-0-28
10-40 – 10-50	<u>Сорокина С.А.</u> , Григорьев М.И., Кучкина Н.В., Сульман М.Г., Шифрина З.Б. НАНОРАЗМЕРНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ГИДРИРОВАНИЯ CO ₂ В МЕТАНОЛ: РОЛЬ ПОЛИМЕРНОГО СЛОЯ	2-0-29
10-50 – 11-00	<u>Эшкурбонов Ф.Б.</u> , Рахмонкулов Ж.Э., Нормуродов Ж.Б., Бобокулова М.Ш. ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИХ ИОНИТОВ	2-0-30
Секция 1. Синтез и модификация полимеров		Малый зал СПбНЦ
Председатель: <u>М.Л. Левит</u>		
09-30 – 09-40	<u>Мацько М.А.</u> , Панченко В.Н., Захаров В.А. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИЕЙ ЭТИЛЕНА <i>IN-SITU</i> НА ТИТАН-МАГНИЕВОМ КАТАЛИЗАТОРЕ, НАНЕСЕННОМ НА НАНООКСИДЫ И УГЛЕРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ	1-0-11
09-40 – 09-50	<u>Навроцкий А.В.</u> ПРИВИТЫЕ ПОЛИМЕРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ И ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ: ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА	1-0-12
09-50 – 10-00	<u>Мурзаканова М.М.</u> , Мамхегов Р.М., Байказиев А.Э., Шахмурзова К.Т., Хаширова С.Ю. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДЫ ЛИГАНДОВ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ПРОЦЕСС СИНТЕЗА ПЭТФ	1-0-13
10-00 – 10-10	<u>Якобсон О.Д.</u> , Шевченко Н.Н. СИНТЕЗ ПОЛИМЕРНЫХ ЧАСТИЦ СТРУКТУРЫ ЯДРО/ОБОЛОЧКА С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ	1-0-14
10-10 – 10-20	<u>Кутлугильдина Г.Г.</u> , Зимин Ю.С. СИНТЕЗ ОКИСЛЕННЫХ ФРАКЦИЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И ЯБЛОЧНОГО ПЕКТИНА И ИХ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ С БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ	1-0-15

10-20 – 10-30	<u>Блохин А.Н.</u> , Разина А.Б., Кирилэ Т.Ю., Родченко С.В., Филиппов А.П., Теньковцев А.В. СИНТЕЗ ПОЛИМЕРНЫХ ЩЁТОК С ЧЕРЕДУЮЩИМИСЯ БОКОВЫМИ ПОЛИОКСАЗОЛИНОВЫМИ ЦЕПЯМИ	1-O-16
10-30 – 10-40	<u>Еременко И.В.</u> , Бондаренко Г.Н., Симонова Ю.А., Евлампиева Н.П., Тимофеева Л.М. ПОЛУЧЕНИЕ ПРОТОНИРОВАННЫХ ДИАЛЛИЛАММОНИЕВЫХ ПОЛИМЕРОВ МЕТОДОМ ОПЦ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ	1-O-17
10-40 – 10-50	<u>Мишунин С.В.</u> , Агибалова Л.В., Суханова Т.Е. ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО МОНОМЕРА НА КОЛЛОИДНЫЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКРИЛАТНЫХ ЛАТЕКСОВ, ПОЛУЧЕННЫХ В ОТСУТСТВИЕ ЭМУЛЬГАТОРА	1-O-18
10-50 – 11-00	<u>Мухамедиев М.Г.</u> , Бекчанов Д.Ж., Ботиров С., Файзуллаев Ю. НОВЫЕ ИОНООБМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА	1-O-19
Пленарные и приглашённый доклады Большой зал СПбНЦ Председатель: <u>В.Е. Юдин</u>		
11-30 – 12-05	<u>Щипунов Ю.А.</u> АЭРОГЕЛИ ИЗ НАНОРАЗМЕРНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ - МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКИ, ЭНЕРГЕТИКИ, МЕДИЦИНЫ И ЭКОЛОГИИ	PL-03
12-05 – 12-40	<u>Кузнецов А.А.</u> НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ПОЛИИМИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ	PL-04
12-40 – 13-00	Привар Ю.О., Борода А.В., Майорова М.А., Скатова А.В., <u>Братская С.Ю.</u> ОСОБЕННОСТИ ТРЕХМЕРНОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ОПУХОЛЕВЫХ И НОРМАЛЬНЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА В ОБЪЕМЕ СУПЕРМАКРОПОРИСТЫХ КРИОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И КАРБОКСИМЕТИЛХИТОЗАНА	P-02
Секция 3. Биополимеры и полимеры медицинского назначения Большой зал СПбНЦ Председатель: <u>С.Ю. Братская</u>		
14-30 – 14-40	<u>Лозинский В.И.</u> ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИЕМОМ КРИОГЕННОГО СТРУКТУРИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ БИМЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	3-O-11
14-40 – 14-50	<u>Сухов Б.Г.</u> , Трофимов Б.А., Рэгдэл Д. НЕКОВАЛЕНТНЫЕ (НАТУРАЛЬНЫЕ И СИНТЕТИЧЕСКИЕ) НАНОГЛИКОКОНЪЮГАТЫ ФЛАВОНОИДОВ И НАНОБИОКОМПЗИТЫ НА ИХ ОСНОВЕ: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ И БИМЕДИЦИНСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ	3-O-12
14-50 – 15-00	<u>Гасилова Е.Р.</u> , Скорик Ю.А., Пошина Д.А., Сапрыкина Н. Н., Ситникова А.О. СТРУКТУРА ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ СВЕРХРАЗВЕТВЛЕННОГО АНИОННОГО ПОЛИСАХАРИДА ФУКОИДАНА С ХИТОЗАНОМ	3-O-13
15-00 – 15-10	<u>Сербин А.В.</u> , Алиханова О.Л. ГИБРИДНО-МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТЫ НАНО-БИО-СЕЛЕКТИВНОЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ВИРУСОВ	3-O-14
15-10 – 15-20	<u>Махаева Д.Н.</u> , Ирмухаметова Г.С., Хуторянский В.В. РАЗРАБОТКА ГИДРОГЕЛЕВЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА ПОЛИ(2-ЭТИЛ-2-ОКСАЗОЛИНА) С ИОДОМ	3-O-15
15-20 – 15-30	<u>Бокатый А.Н.</u> , Дубашинская Н.В., Скорик Ю.А. СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ДЕКСАМЕТАЗОН ФОСФАТА НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ	3-O-16

15-30 – 15-40	<u>Огородников В.Э., Корчевская А.Г., Пристромова Ю.И., Едчик А.В., Барановская А.В., Бычковский П.М., Юркштович Т.Л.</u> КАПСУЛЫ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И ФОСФАТА ПУЛЛУЛАНА ДЛЯ КОНТРОЛИРУЕМОГО ВЫСВОБОЖДЕНИЯ ТЕМОЗОЛОМИДА	3-О-17
15-40 – 15-50	<u>Семкина А.С., Загоскин Ю.Д., Кузнецов Н.М., Чвалун С.Н.</u> РЕОЛОГИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ТРОЙНЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ПЛА-ПЭГ-ПЛА	3-О-18
15-50 – 16-00	<u>Акимченко И.О., Горениский С.И., Сударев Е.А., Булдаков М.А., Джавтаева Д.Х., Твердохлебов С.И.</u> НАНЕСЕНИЕ БИОАКТИВНЫХ КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОЛИЭФИРКЕТОН ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОСТЕОИНТЕГРАЦИИ	3-О-19
Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов Председатель: <u>М.А. Симонова</u> Малый зал СПбНЦ		
14-30 – 14-40	<u>Игуменова Т.И.</u> ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УГЛЕРОДНЫХ ФуЛЛЕРЕНОВ С ПОЛИМЕРАМИ	2-О-31
14-40 – 14-50	<u>Александрова А.А., Бабкин А.В., Морозов О.С.</u> ФТАЛОНИТРИЛ-МЕТАКРИЛОВЫЕ МОНОМЕРЫ ДВОЙНОГО ОТВЕРЖДЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОСТОЙКИХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ СТЕРЕОЛИТОГРАФИИ	2-О-32
14-50 – 15-00	<u>Пичугин А.М., Савельев Е.Н., Алыкова Е.А., Новаков И.А.</u> СИНТЕЗ НОВЫХ (СО)ПОЛИИМИДОВ НА ОСНОВЕ ЖИРНЫХ И ЖИРНОАРОМАТИЧЕСКИХ АДАМАНТАНСОДЕРЖАЩИХ ДИАМИНОВ С УЛУЧШЕННЫМИ ОПТИЧЕСКИМИ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ	2-О-33
15-00 – 15-10	<u>Файков И.И., Полоцкая Г.А., Курындин И.С., Зоолшоев З.Ф., Пулялина А.Ю.</u> МЕМБРАНА НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО МОДИФИКАТОРА ДЛЯ ГАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ	2-О-34
15-10 – 15-20	<u>Шибасева В.Д., Евдокимова А.В., Сироткин Н.А., Хлюстова А.В.</u> ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НЕОРГАНИЧЕСКОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ	2-О-35
15-20 – 15-30	<u>Агаркин С.А., Ломовский И.О.</u> МАКРОКИНЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ МОДЕЛЬНОГО МОНОМЕРА ЛИГНИНА – КОРИЧНОЙ КИСЛОТЫ	2-О-36
15-30 – 15-40	<u>Зеленцов М.Д., Симонова М.А., Литвинова Л.С., Жукова Е.В., Филиппов А.П., Якиманский А.В.</u> СТРУКТУРНО-КОНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СОПОЛИФЛУОРЕНОВ В РАЗБАВЛЕННЫХ РАСТВОРАХ	2-О-37
15-40 – 15-50	<u>Яновский М.Д., Ломовский И.О.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ КАТЕХИНОВ ЗЕЛЕННОГО ЧАЯ ПРИ ИНКАПСУЛЯЦИИ МАЛЬТОДЕКСТРИНОМ	2-О-38
15-50 – 16-00	<u>Ходжаева Н.К., Холмунинов А.А.</u> ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАФИТОВЫХ РАСТВОРОВ СОПОЛИМЕРА АКРИЛОНИТРИЛА ИХ ПРИМЕНЕНИЕ	2-О-39
16-00 – 16-10	<u>Тимошенко М.В., Балабанов С.В., Сычев М.М.</u> ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПОЛНЕННОГО КОМБИНИРОВАННЫМ НАНОПОЛНИТЕЛЕМ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТА	2-О-40
СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ		
16-30 – 18-30	Секция 1. Синтез и модификация полимеров: 1-Р-26 – 1-Р-51 Секция 3. Биополимеры и полимеры медицинского назначения: 3-Р-25 – 3-Р-48	

Среда, 15 ноября

Секция 4. Теория и компьютерное моделирование

Большой зал СПбНЦ

Председатель: С.В. Ларин

09-30 – 09-40	<u>Фоминых О.Д.</u> , Шарипова А.В., Балакина М.Ю. АТОМИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРИЕНТАЦИИ ХРОМОФОРОВ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ ПММА В ПРИЛОЖЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ	4-0-01
09-40 – 09-50	<u>Гощевиков В.П.</u> ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПЕРЕСТРОЕК НАМАГНИЧИВАЮЩИХСЯ ЧАСТИЦ НА ДЕФОРМАЦИЮ МАГНИТОАКТИВНЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ	4-0-02
09-50 – 10-00	Петров А.И., Лелекова В.А., Рудяк В.Ю., <u>Чертович А.В.</u> ВЛИЯНИЕ ЗАЦЕПЛЕНИЙ НА ПОЛУЧЕНИЕ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКОН	4-0-03
10-00 – 10-10	<u>Худобин Р.В.</u> , Мазо М.А., Балабаев Н.К. ВНУТРИМОЛЕКУЛЯРНАЯ ПОДВИЖНОСТЬ ПОЛИТРИЦИКЛОНОНЕНОВ. МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	4-0-04
10-10 – 10-20	<u>Никитенко В.Р.</u> , Бурдаков Я.В., Саунина А.Ю. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДВИЖНОСТИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ ПОЛИМЕРАХ С НАНОКРИСТАЛЛИТАМИ	4-0-05
10-20 – 10-30	<u>Полоцкий А.А.</u> , Иванова А.С. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ АДСОРБЦИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ СОПОЛИМЕРОВ НА РЕГУЛЯРНЫХ ХИМИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ	4-0-06
10-30 – 10-40	<u>Балакина М.Ю.</u> , Фоминых О.Д., Шарипова А.В., А.И. Левицкая АТОМИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ДИЗАЙНЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С КВАДРАТИЧНОЙ НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ	4-0-07
10-40 – 10-50	<u>Алиев М.А.</u> ВЛИЯНИЕ ГИБКОСТИ СЕГМЕНТОВ НА НЕМАТИЧЕСКОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ V-ОБРАЗНЫХ МАКРОМОЛЕКУЛ	4-0-08
10-50 – 11-00	Шевелева Н.Н., Долгушев М., Комолкин А.В., <u>Маркелов Д.А.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ РЕЛАКСАЦИИ РАСПЛАВОВ ДЕНДРИМЕРОВ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	4-0-09

Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов

Малый зал СПбНЦ

Председатель: А.Н. Бугров

09-30 – 09-40	<u>Борисов А.К.</u> , Марихин В.А., Егоров В.М. ЭФФЕКТ ЧЁТНОСТИ В ГОМОЛОГИЧЕСКОМ РЯДУ n-АЛКАНОВ	2-0-41
09-40 – 09-50	<u>Ильинова К.О.</u> , Сафронов А.П. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИКИ И КИНЕТИКИ РЕАКЦИИ ОТВЕРЖДЕНИЯ ЭПОКСИДНОГО КОМПОЗИТА, НАПОЛНЕННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ ЖЕЛЕЗА, В ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ	2-0-42
09-50 – 10-00	<u>Кабанова В.А.</u> , Грибкова О.Л., Некрасов А.А. МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СЛОИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСОВ ПОЛИ-3,4-ЭТИЛЕНДИОКСИТИОФЕНА С ПОЛИМЕРНЫМИ СУЛЬФОКИСЛОТНЫМИ ЭЛЕКТРОЛИТАМИ	2-0-43
10-00 – 10-10	<u>Кунцман И.В.</u> , Николаева А.Л., Гофман И.В., Ларин С.В. УГЛЕРОДНЫЕ НАНОВОЛОКНА И НАНОТРУБКИ КАК НАПОЛНИТЕЛИ, СПОСОБНЫЕ ПОВЫШАТЬ ТЕРМИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ВЫСОКОТЕРМОСТОЙКИХ ПОЛИИМИДОВ	2-0-44
10-10 – 10-20	<u>Евдокимова А.В.</u> , Шibaева В.Д., Сироткин Н.А., Хлюстова А.В. ЭЛЕКТРОХРОМНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БИОСОВМЕТИМЫХ ПОЛИМЕРОВ И M_oO_x/WO_x СТРУКТУР	2-0-45

10-20 – 10-30	<u>Хрусталеv А.Н.</u> , Соколова Л.В. СТРУКТУРА НАНООРГАНИЗАЦИИ ДВОЙНЫХ ФТОРСОПОЛИМЕРОВ	2-О-46
10-30 – 10-40	<u>Рудаков Н.С.</u> , Пергушов Д.В., Сиголаева Л.В. СТИМУЛЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МИКРОГЕЛИ КАК МАТРИЦЫ ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ ФЕРМЕНТОВ И СОЗДАНИЯ БИОСЕНСОРНЫХ ПОКРЫТИЙ	2-О-47
10-40 – 10-50	<u>Кусков Т.Е.</u> , Подгорбунских Е.М., Бухтояров В.А., Бычков А.Л. ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ ДЕАЦЕТИЛИРОВАНИЯ α - И β -ХИТИНА	2-О-48
10-50 – 11-00	<u>Шаров К.И.</u> , Шапагин А.В. ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТЕЙ СУБСТРАТОВ НА ЭЛЕКТРОАДГЕЗИОННЫЕ СИЛЫ	2-О-49
11-00 – 11-10	<u>Стамер К.С.</u> , Балтаева М.Б., Орлов М.В. КОМПЛЕКСНЫЕ МИКРОКОНТЕЙНЕРЫ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ АВТОНОМНОЙ РЕАКЦИИ КАК МАТЕРИАЛ ДЛЯ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩЕГОСЯ ЦЕМЕНТА	2-О-50
Пленарные и приглашённый доклады Большой зал СПбНЦ Председатель: <u>С.В. Бронников</u>		
11-30 – 12-05	<u>Борисов О.В.</u> ПОЛИМЕРНЫЕ ЩЕТКИ КАК СТРУКТУРНЫЙ МОТИВ БИОМИМЕТИЧЕСКИХ НАНОМАТЕРИАЛОВ	PL-05
12-05 – 12-40	<u>Цветков Н.В.</u> МОЛЕКУЛЯРНАЯ ГИДРОДИНАМИКА И ОПТИКА ПОЛИМЕРОВ КАК ОСНОВА КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ КОНФОРМАЦИИ И СВОЙСТВ МАКРОМОЛЕКУЛ И НАНОЧАСТИЦ В РАЗБАВЛЕННЫХ РАСТВОРАХ	PL-06
12-40 – 13-00	<u>Чалых А.Е.</u> , Герасимов В.К. ОЦЕНКА ТОЛЩИНЫ МЕЖФАЗНОГО СЛОЯ В РАМКАХ РАВНОВЕСНОЙ ТЕОРИИ РАСТВОРОВ ПОЛИМЕРОВ	P-03
Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов Большой зал СПбНЦ Председатель: <u>Н.В. Цветков</u>		
14-30 – 14-40	<u>Борисова М.Э.</u> , Камалов А.М., Павлов А.А., Диденко А.Л., Джайасингхе Б.М.Д.Н.С. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЭЛЕКТРОПЕРЕНОСА В ПОЛИМЕРНЫХ ДИЭЛЕКТРИКАХ	2-О-51
14-40 – 14-50	<u>Возняковский А.П.</u> , Возняковский А.А. 2D ГРАФЕНОВЫЕ СТРУКТУРЫ КАК ПОЛИМЕРЫ ГЕКСАГОНА АТОМОВ УГЛЕРОДА	2-О-52
14-50 – 15-00	<u>Вахонина Т.А.</u> , Гайсин А.И., Фазлеева Г.М., Калинин А.А., Валиева А.А., Шмелев А.Г., Исламова Л.Н., Шарипова А.В., Хаматгалимов А.Р., Балакина М.Ю. НОВЫЕ НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ МЕТАКРИЛОВЫХ СОПОЛИМЕРОВ С ХИНОКСАЛИНОВЫМИ ХРОМОФОРАМИ В БОКОВОЙ ЦЕПИ	2-О-53
15-00 – 15-10	<u>Иванькова Е.М.</u> , Касаткин И.А., Диденко А.Л., Попова Е.Н., Елоховский В.Ю., Юдин В.Е. СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ НАСЦЕНТНОГО ПОРОШКА ПОЛИЭФИРИМИДА Р-ОДФО ПРИ НАГРЕВАНИИ	2-О-54
15-10 – 15-20	<u>Сычев М.М.</u> АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРАКТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК	2-О-55
15-20 – 15-30	<u>Пулялина А.Ю.</u> , Файков И.И., Тянь Н.С., Полоцкая Г.А. ВЛИЯНИЕ НАНОАЛИМАЗОВ НА СТРУКТУРУ И ТРАНСПОРТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕМБРАН В ДИФфуЗИОННЫХ И БАРОМЕМБРАННЫХ ПРОЦЕССАХ	2-О-56

15-30 – 15-40	<u>Баско А.В.</u> , Почивалов К.В., Лебедева Т.Н., Ильясова А.Н., Юров М.Ю. ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В СМЕСЯХ ПОЛИАМИДА-12 С БЕНЗИЛОВЫМ СПИРТОМ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПОЛУЧЕНИЮ ПОРОШКОВ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ	2-0-57
15-40 – 15-50	<u>Понкратов Д.О.</u> , Малышкина И.А., Лазутин А.А., Лозинская Е.И. ИОНПРОВОДЯЩИЕ БЛОК-СОПОЛИМЕРЫ КАК ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ ДЛЯ ЛИТИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ	2-0-58
15-50 – 16-00	<u>Мухамедиев М.Г.</u> , Бекчанов Д.Ж., Эштурсунов Д., Инханова А. ФОРМИРОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ И ИХ СОЛЕЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ СОРБЕНТОВ	2-0-59
16-00 – 16-10	<u>Зиновьев А.В.</u> , Пискарев М.С., Гильман А.Б., Кузнецов А.А., Скрылева Е.А., Сенатулин Б.Р., Гатин А.К., Сырцова Д.А., Тепляков В.В. МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИВИНИЛТРИМЕТИЛСИЛАНА В РАЗРЯДАХ ПЕРЕМЕННОГО И ПОСТОЯННОГО ТОКА	2-0-60
Секция 1. Синтез и модификация полимеров Малый зал СПбНЦ Председатель: <u>А.Г. Иванов</u>		
14-30 – 14-40	<u>Лизякина О.С.</u> , Ваганова Л.Б., Гришин Д.Ф. РИБОФЛАВИН КАК ФОТОКАТАЛИЗАТОР ПОЛИМЕРИЗАЦИИ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА	1-0-20
14-40 – 14-50	<u>Боровкова В.С.</u> , Маляр Ю.Н., Казаченко А.С. ПОЛУЧЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАСТИФИЦИРОВАННЫХ КОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК АРАБИНОГАЛАКТАНА, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ КАРБОНОВЫМИ КИСЛОТАМИ	1-0-21
14-50 – 15-00	<u>Лаишевкина С.Г.</u> , Кулешова Т.Э., Панова Г.Г., Шевченко Н.Н. СУЛЬФОСОДЕРЖАЩИЕ КРИОГЕЛИ КАК МАТЕРИАЛ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА	1-0-22
15-00 – 15-10	<u>Степанянц В.Р.</u> , Наземутдинова В.Р., Жигарев В.А., Ильин С.О., Топчий М.А., Моронцев А.А., Бермешев М.В. ТАНДЕМ ПРОЦЕСС МЕТАТЕЗИСНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ – ГИДРИРОВАНИЕ ДВОЙНЫХ СВЯЗЕЙ ОСНОВНОЙ ЦЕПИ ОЛИГОМЕРОВ ЦИКЛООКТЕНА	1-0-23
15-10 – 15-20	<u>Кудрявцева Е.В.</u> , Буринская А.А. ПРИДАНИЕ АНТИМИКРОБНЫХ СВОЙСТВ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫМ И БЕЛКОВЫМ ПОЛИМЕРНЫМ МАТЕРИАЛАМ	1-0-24
15-20 – 15-30	<u>Быков Д.С.</u> , Шулевич Ю.В., Вовк М.А., Духанина Е.Г., Навроцкий А.В., Новаков И.А. ВЛИЯНИЕ БУРА-ФОСФАТНОГО БУФЕРНОГО РАСТВОРА НА МАТРИЧНУЮ ПОЛИМЕРИЗАЦИЮ ТРИМЕТИЛМЕТАКРИЛОИЛОКСИЭТИЛАММОНИЙ МЕТИЛСУЛЬФАТА В МИЦЕЛЛЯРНЫХ РАСТВОРАХ ДОДЕЦИЛСУЛЬФАТА НАТРИЯ	1-0-25
15-30 – 15-40	<u>Крыгина Д.М.</u> , Сивцов Е.В., Гостев А.И., Байгильдин В.А. КОНТРОЛИРУЕМАЯ РАДИКАЛЬНАЯ СОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ 5-ВИНИЛТЕТРАЗОЛОВ С N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНОМ В УСЛОВИЯХ ОБРАТИМОЙ ПЕРЕДАЧИ ЦЕПИ	1-0-26
15-40 – 15-50	<u>Чичаров А.А.</u> , Григорьева А.О., Зайцев С.Д. МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИЛАКТИДА МЕТОДОМ ROCOP-RAFT ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РЕЗОРБИРУЕМЫХ СКАФФОЛДОВ	1-0-27
15-50 – 16-00	<u>Воробьев Д.С.</u> , Вайтусёнок А.А., Костюк С.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОКАТАЛИЗИРУЕМОЙ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ СТИРОЛА В ПРИСУТСТВИИ АГЕНТОВ ОБРАТИМОЙ ПЕРЕДАЧИ ЦЕПИ	1-0-28

16-00 – 16-10	<u>Тронеv И.В.</u> , Горячева А.Н., Аллун Э.Д., Лукьянова А.А., Лесников И.И., Даровских А.В. ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ СИНТЕЗА ДИНИТРАТА МЕТРИОЛА	1-О-29
16-10 – 16-20	<u>Каскевич К.И.</u> , Симонова М.А., Ромашева М.М., Литвинова Л.С., Якиманский А.В. МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ПОЛИФЛУОРЕНОВЫЕ ЩЕТКИ С БОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ ПОЛИМЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ	1-О-30
16-40 – 18-30	СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов: 2-Р-01 – 2-Р-46 Секция 4. Теория и компьютерное моделирование: 4-Р-01 – 4-Р-10	

Четверг, 16 ноября

Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов

Большой зал СПбНЦ

Председатель: Е.М. Иванькова

09-30 – 09-40	<u>Дабига О.Н., Шилова О.А.</u> ДЕГРАДАЦИЯ И СТЕПЕНЬ НАБУХАНИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ ИЗ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ КРАХМАЛОВ И КРАХМАЛОВ С ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЕМ, СШИТЫХ СУЛЬФАТОМ КАЛЬЦИЯ	2-О-61
09-40 – 09-50	<u>Ваганов Г.В., Диденко А.Л., Попова Е.Н., Иванькова Е.М., Юдин В.Е.</u> ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ НА СВОЙСТВА УГЛЕПЛАСТИКОВ ИЗ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ЧАСТИЧНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПОЛИИМИДА	2-О-62
09-50 – 10-00	<u>Новиков М.М., Ангелуц А.А., Шкуринов А.П., Черобыло С.А.</u> РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПАСТ ДЛЯ СТЕРЕОЛИТОГРАФИЧЕСКОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА	2-О-63
10-00 – 10-10	<u>Смыслов Р.Ю., Щугорева И.А., Валиева И.А., Гойхман М.Я., Томилин Ф.Н., Аврамов П.А., Якиманский А.В.</u> ОТ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АНТРАЗОЛИНОВЫХ МОНОМЕРОВ К ПОЛИМЕРНОЙ ЦЕПИ: ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ	2-О-64
10-10 – 10-20	<u>Квятковский А.Л., Молчанов В.С., Куклин А.И., Филиппова О.Е.</u> ГИБРИДНЫЕ МИЦЕЛЛЫ ОЛЕАТА КАЛИЯ, АРМИРОВАННЫЕ ПОЛИ(4-ВИНИЛПИРИДИНОМ). СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ	2-О-65
10-20 – 10-30	<u>Саломатина Е.В., Кряжев Д.В., Смирнова О.Н., Смирнова Л.А.</u> АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА САМООЧИЩАЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОПОЛИМЕРОВ, СОДЕРЖАЩИХ ПОЛИТИТАНОКСИД	2-О-66
10-30 – 10-40	<u>Быкова Е.Н., Кунцман И.В., Гофман И.В., Возняковский А.П.</u> ВЛИЯНИЕ ГРАФЕНОПОДОБНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ НА ТЕРМИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЕНОК НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ АРОМАТИЧЕСКОГО ПОЛИИМИДА	2-О-67
10-40 – 10-50	<u>Кочетков В.Г., Каблов В.Ф., Кейбал Н.А., Новопольцева О.М., Крюкова Д.А., Уржумов Д.А., Казарян К.С., Токарь В.А.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛАСТОМЕРНЫХ ОГНЕТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ МИКРОДИСПЕРСНЫЕ КОМПОНЕНТЫ, ОБРАБОТАННЫЕ ПЛАЗМОЙ	2-О-68
10-50 – 11-00	<u>Инагамов С.Я., Эшматов А., Мухамедов Г.И.</u> СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ИНТЕРПОЛИМЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИСАХАРИДА НАТРИЙКАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ И КАРБОПОЛА	2-О-69
11-00 – 11-10	<u>Непомнящих В.В., Лебедев О.В., Голубев Е.К., Озерин А.Н.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ ПРИ ИХ ПЕРЕРАБОТКЕ В СОСТОЯНИИ РАСПЛАВА	2-О-70

Секция 1. Синтез и модификация полимеров

Малый зал СПбНЦ

Председатель: А.Л. Диденко

09-30 – 09-40	<u>Козина Н.Д., Кирилэ Т.Ю.</u> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛИ(2-АЛИКЛ-2-ОКСАЗОЛИН)ОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ НЕФТИ	1-О-31
09-40 – 09-50	<u>Алиев Э.Э., Заремский М.Ю., Пуханова Е.В., Зайцев М.О.</u> РАДИКАЛЬНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ 2-МЕТИЛЕН-1,3-ДИОКСЕПАНА	1-О-32
09-50 – 10-00	<u>Рошин Д.Е., Патлажан С.А.</u> ВЛИЯНИЕ ВИХРЕВОГО ТЕЧЕНИЯ НА СВОБОДНО-РАДИКАЛЬНУЮ ПОЛИМЕРИЗАЦИЮ ВНУТРИ МИКРОКАПЛИ ПРИ ИНИЦИИРОВАНИИ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ФАЗ	1-О-33

10-00 – 10-10	<u>Якиманский А.А.</u> , Каскевич К.И., Чулкова Т.Г., Жданов А.П., Лыпенко Д.А., Якиманский А.В. СОПОЛИМЕРЫ ФЛУОРЕНА И ДИКАРБОНИТРИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ СТИЛЬБЕНА И ФЕНАНТРЕНА, ИХ ФОТО- И ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА	1-O-34
10-10 – 10-20	<u>Трофимук Д.В.</u> , Гульник М.И., Костюк С.В. ФОТОИНИЦИИРУЕМАЯ В ДИАПАЗОНЕ ВИДИМОГО СВЕТА КАТИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ИЗОБУТИЛЕНА	1-O-35
10-20 – 10-30	<u>Горбачев С.А.</u> , Зуев В.В. МЕЗОМОРФИЗМ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОЛИГОМЕРОВ. СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	1-O-36
10-30 – 10-40	<u>Головачева А.А.</u> , Казарина О.В. МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В РЕАКЦИЯХ КОНВЕРСИИ CO ₂	1-O-37
10-40 – 10-50	<u>Черевинский А.П.</u> , Шапагин А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ ВОЛОКНО-ГЕТЕРОГЕННАЯ МАТРИЦА И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЧНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ	1-O-38
10-50 – 11-00	<u>Лобановская Е.К.</u> , Зуев В.В. МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИУРЕТАНОВ ЛЕСТНИЧНЫМИ ПОЛИСИЛОКСАНАМИ	1-O-39
11-00 – 11-10	<u>Ихтиярова Г.А.</u> , <u>Хайдаров А.А.</u> ПОЛУЧЕНИЕ О-КАРБОКСИМЕТИЛХИТОЗАНА НА ОСНОВЕ ПЧЕЛИНОГО ПОДМОРА APIS MELLIFERA И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ДЕЗАЦЕТИЛИРОВАНИЯ	1-O-40
11-10 – 11-20	<u>Либанов В.В.</u> , Капустина А.А., Шапкин Н.П., Пуничев Е.Е. МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПОЛИНИКЕЛЬ- И ПОЛИКОБАЛЬТФЕНИЛСИЛОКСАНОВ	1-O-41
Пленарный и приглашённые доклады Большой зал СПбНЦ Председатель: <u>А.Д. Вилесов</u>		
11-30 – 12-05	<u>Тенникова Т.Б.</u> БИОДЕГРАДИРУЕМЫЕ НАНОКОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ФАРМАКОЛОГИИ: СОЗДАНИЕ БИОМИМЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ И БЛОКИРОВАНИЯ ПАТОГЕНОВ	PL-07
12-05 – 12-25	<u>Хаширова С.Ю.</u> ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ПОЛИМЕРОВ В РЕКОНСТРУКТИВНОЙ ХИРУРГИИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ	P-04
12-25 – 12-45	<u>Гальрозе Р.В.</u> ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ И НАНОЧАСТИЦ: СОСТАВ, СТАБИЛЬНОСТЬ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	P-05
Секция 3. Биополимеры и полимеры медицинского назначения Большой зал СПбНЦ Председатель: <u>И.С. Гаркушина</u>		
14-30 – 14-40	<u>Критченков А.С.</u> НОВЫЕ ПОЛИМЕРАНАЛОГИЧНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ХИТИНА И ХИТОЗАНА	3-O-20
14-40 – 14-50	<u>Футорянская А.М.</u> , Александрова В.А. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА В РАСТВОРЕ СУКЦИНИЛ ХИТОЗАНА	3-O-21

14-50 – 15-00	<u>Диденко А.Л., Шишов М. А., Камалов А.М., Нестерова А.С., Ваганов Г.В., Попова Е.Н., Кодолова-Чухонцева В. В., Иванькова Е.М., Смирнова Н.В., Юдин В.Е., Кудрявцев В.В.</u> ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ НАПОЛНЕННЫЕ СОПОЛИ(УРЕТАН-ИМИДНЫЕ) ПЛЕНКИ В КАЧЕСТВЕ МАТРИЦ И АППЛИКАТОРОВ	3-0-22
15-00 – 15-10	<u>Горшкова М.Ю., Ванчугова Л.В., Волкова И.Ф., Валувев И.Л., Григорян Э.С., Валувев Л.И.</u> МУКОАДГЕЗИВНЫЕ ГИДРОГЕЛИ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГИНАТА -ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ НОСИТЕЛИ ЛЕКАРСТВ	3-0-23
15-10 – 15-20	<u>Носков Б.А., Акентьев А.В., Быков А.Г., Миляева О.Ю., Рафикова А.Р.</u> ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АДСОРБЦИОННЫХ И НАНЕСЕННЫХ СЛОЕВ АГРЕГАТОВ БЕЛКОВ НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ	3-0-24
15-20 – 15-30	<u>Зубанова Е.М., Сименидо Г.А., Иванова Т.А., Голубева Е.Н.</u> СТРУКТУРА И ДИНАМИКА НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В РАСТВОРАХ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ: ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРОСКОПИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА	3-0-25
15-30 – 15-40	<u>Иванова Т.А., Голубева Е.Н., Игнатъева Н.Ю., Мельников М.Я.</u> КИНЕТИЧЕСКИЕ ПРОФИЛИ ВЫСВОБОЖДЕНИЯ рН-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЗОНДА ДР1 ИЗ ПЛЕНОК ПОЛИ-D,L-ЛАКТИДА, СФОРМИРОВАННЫХ ПРИ ПОМОЩИ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ФЛЮИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	3-0-26
15-40 – 15-50	<u>Воробьев А.О., Кульбакин Д.Е., Больбасов Е.Н.</u> ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ИМПЛАНТАТЫ ИЗ ФТОРПОЛИМЕРА ИЗГОТОВЛЕННЫЕ МЕТОДОМ 3D ПЕЧАТИ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ДЕФЕКТОВ ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ОБЛАСТИ	3-0-27
15-50 – 16-00	<u>Кастро Д., Подшивалов А.В.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР (БИО)ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ КАРБОКСИМЕТИЛКРАХМАЛА МАНИОКИ И ХИТОЗАНА	3-0-28
16-00 – 16-10	<u>Фетисова В.Э., Тетерина А.Ю., Комлев В.С.</u> ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ ТКАНЕИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКТОВ ЧАСТИЦАМИ ЖЕЛЕЗА И СЕРЕБРА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ	3-0-29
16-10 – 16-20	<u>Малык Б.В., Хавпачев М.А.</u> КРЕЙЗИНГ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ СМЕСЕЙ ИЗ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИМЕРОВ	3-0-30
Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов Председатель: <u>М.А. Смирнов</u> Малый зал СПбНЦ		
14-30 – 14-40	<u>Федоренко А.А., Гринюк Е.В., Сальникова И.А., Костюк С.В.</u> ВЛИЯНИЕ γ -ИЗЛУЧЕНИЯ НА ГИДРОЛИЗ ПЛЕНОК ПОЛИ(L-ЛАКТИДА) ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ	2-0-71
14-40 – 14-50	<u>Пономаренко А.Д., Шапагин А.В.</u> СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В ЭПОКСИДНОЙ ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОЛИСУЛЬФОНОМ И АКТИВНЫМ РАЗБАВИТЕЛЕМ	2-0-72
14-50 – 15-00	<u>Захаров М.С., Мороков Е.С., Тертышная Ю.В.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ПОЛИЛАКТИД-ПОРФИРИН АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ	2-0-73
15-00 – 15-10	<u>Кондратьев В.Н., Кепман А.В., Морозов О.С.</u> ПОДБОР ОТВЕРДИТЕЛЕЙ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ТЕРМОСТОЙКОСТИ БЫСТРООТВЕРЖДАЕМЫХ ФТАЛОНИТРИЛЬНЫХ СВЯЗУЮЩИХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СОТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ	2-0-74
15-10 – 15-20	<u>Батищева Е.В., Смирнов Н.Н., Боброва Н.В., Соколова М.П., Смирнов М.А.</u> СУПЕРКОНДЕНСАТОРЫ НА ОСНОВЕ ГИДРОГЕЛЯ ПОЛИАНИЛИНА И ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ СОПОЛИМЕРОМ 2-АКРИЛАМИДО-2- МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОНОВОЙ КИСЛОТЫ С АКРИЛАТОМ НАТРИЯ	2-0-75

15-20 – 15-30	<u>Иванченко А.В.</u> , Морозов О.С., Бабкин А.В. ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ ЭЛЕКТРОДОВ ИЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА СВОЙСТВА ИОННЫХ АКТУАТОРОВ	2-О-76
15-30 – 15-40	<u>Белоусов Г.К.</u> , Вайтусёнок А.А., Костюк С.В. ЧЕРЕДУЮЩИЕСЯ ТАДФ СОПОЛИМЕРЫ ДЛЯ НЕДОПИРОВАННЫХ СВЕТОДИОДОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ “РАСТВОРНЫМ” МЕТОДОМ	2-О-77
15-40 – 15-50	<u>Терлеева В.Ю.</u> , Тertyшная Ю.В., Танделов А.-Т. Т., Жданова К.А. СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ ПОЛИЛАКТИД – МЕТАЛЛОКОМПЛЕКС МЕЗО-ЗАМЕЩЕННОГО ПОРФИРИНА	2-О-78
15-50 – 16-00	<u>Сюткин В.С.</u> , Пешкова М.А. ПОЛИМЕРНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ Na ⁺ И Cl ⁻ В ПОТОВОЙ ЖИДКОСТИ	2-О-79
16-30 – 17-30	СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов: 2-Р-47 – 2-Р-97	

Пятница, 17 ноября

Секция 3. Биополимеры и полимеры медицинского назначения Большой зал СПбНЦ Председатель: Н.В. Дубашинская

09-30 – 09-40	<u>Джужа А.Ю.</u> , Коржикова-Влах Е.Г. СИСТЕМЫ КОМБИНИРОВАННОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ АМФИФИЛЬНЫХ ПОЛИАМИНОКИСЛОТ	3-0-31
09-40 – 09-50	<u>Зеников Г.Р.</u> , Хижняк С.Д., Иванова А.И., Пахомов П.М. ВЛИЯНИЕ ХИТОЗАНА НА СТРОЕНИЕ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ L-ЦИСТЕИНА И НИТРАТА СЕРЕБРА	3-0-32
09-50 – 10-00	<u>Орлова П.Д.</u> , Ле-Дейген И.М., Мешков И.Б., Латипов Е.В., Калинин А.А., Кудряшова Е.В. ПОЛИМЕТИЛСИЛСЕСКВИОКСАНОВЫЕ ГИДРОГЕЛИ - ПЕРСПЕКТИВНЫЙ НОСИТЕЛЬ ДЛЯ ПЕРОРАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ ЖЕЛЕЗА	3-0-33
10-00 – 10-10	Лебедев М.А., Киселев А.Н., <u>Скоробогаткина И.А.</u> КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ С ТРИИОДИДОМ 5-[4'-(1'',3'',7''-ТРИМЕТИКСАНТ-2''-ИЛ)ФЕНИЛ]10,15,20- ТРИС-(N-МЕТИЛПИРИДИНИЙ-3'-ИЛ)ПОРФИРИНА	3-0-34
10-10 – 10-20	<u>Баранникова Л.В.</u> , Белозерская Г.Г., Лесничая В.А., Курмаз С.В. РАЗРАБОТКА ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНОГО И СШИТОГО АЛЬГИНАТА НАТРИЯ. ОЦЕНКА ИХ ГЕМОСТАТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ	3-0-35
10-20 – 10-30	<u>Сажина Ю.А.</u> , Захарова Н.В., Нестерова Н.А. СОПОЛИМЕРЫ N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНА С КУМАРИНОМ	3-0-36
10-30 – 10-40	<u>Золотарева М.С.</u> , Ковалева А.Н. РАСТВОРЯЮЩИЕСЯ МИКРОИГЛЫ НА ОСНОВЕ ПУЛЛУЛАНА ДЛЯ ТРАНСДЕРМАЛЬНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ	3-0-37
10-40 – 10-50	<u>Багаева И.О.</u> , Синицына Е.С., Тенникова Т.Б., Коржикова-Влах Е.Г. СИНТЕЗ АМФИФИЛЬНОГО ТРИБЛОК-СОПОЛИМЕРА С КАТИОННЫМ ФРАГМЕНТОМ ДЛЯ ДОСТАВКИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ И ГИДРОФОБНЫХ ЛЕКАРСТВ	3-0-38
10-50 – 11-00	<u>Гудкин А.В.</u> , Григорьев Д.В., Сивцов Е.В., Успенская М.В. ВЫБОР КИНЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛИЗА ДЛЯ ПРОЦЕССА ВЫСВОБОЖДЕНИЯ СУЛЬФАНИЛАМИДА ИЗ АКРИЛОВЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДЕТОНАЦИОННЫМИ НАНОАЛМАЗАМИ	3-0-39

Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов Малый зал СПбНЦ Председатель: Г.В. Ваганов

09-30 – 09-40	<u>Яхина А.Р.</u> , Жорина Л.А., Роговина С.З., Ломакин С.М., Усачев С.В. ИССЛЕДОВАНИЕ АБСОРБЦИОННЫХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРОВ ПОЛИЛАКТИДА И ПОЛИГИДРОКСИБУТИРАТА С ХИТОЗАНОМ И ВЛИЯНИЯ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ИХ СТРУКТУРУ	2-0-80
09-40 – 09-50	<u>Нохрин К.А.</u> , Сафронов А.П. ФЕРРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ ПОЛИГИДРОКСИЭТИЛМЕТАКРИЛАТА: СИНТЕЗ, НАБУХАНИЕ В ВОДЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	2-0-81
09-50 – 10-00	<u>Плюснина И.О.</u> , Никулова У.В., Хасбиуллин Р.Р., Шапагин А.В. РЕГУЛИРОВАНИЕ ФАЗОВОЙ СТРУКТУРЫ В КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕЙСЯ, РЕАКЦИОННОСПОСОБНОЙ СИСТЕМЕ ПОЛИКАПРОЛАКТОН-ЭПОКСИДНЫЙ ОЛИГОМЕР (ПКЛ-ЭО)	2-0-82
10-00 – 10-10	<u>Осипова Н.И.</u> , Томс Р.В., Черникова Е.В. СОПОЛИМЕРЫ АКРИЛОНИТРИЛА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛОКНА ИЗ РАСПЛАВА	2-0-83

10-10 – 10-20	<u>Просвирнина А.П.</u> , Бугров А.Н., Сивцов Е.В., Николаева А.Л., Камалов А.М., Соколова М.П., Смирнов М.А. ЭФФЕКТ ПАМЯТИ ФОРМЫ В ГЕЛЯХ НА ОСНОВЕ ГИДРОФОБИЗИРОВАННЫХ НАНОВОЛОКОН ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ	2-О-84
10-20 – 10-30	<u>Грязев И.П.</u> , Пешкова М.А. РАЗРАБОТКА ПОЛИМЕРНОГО БЕСКАЛИБРОВОЧНОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ ДЛЯ <i>IN SITU</i> АНАЛИЗА БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ	2-О-85
10-30 – 10-40	<u>Базарова В.Е.</u> , Соколова Л.В. ВЛИЯНИЕ СТЕАРИНОВОЙ КИСЛОТЫ НА СТРУКТУРУ НАНООРГАНИЗАЦИИ ПОЛИМЕРОВ	2-О-86
10-40 – 10-50	<u>Прожерин И.С.</u> , Похвищева Н.В., Пешкова М.А. РАЗРАБОТКА НОВОГО КЛАССА ПОЛИМЕРНЫХ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КРАСИТЕЛЕЙ	2-О-87
10-50 – 11-00	<u>Лебедев О.В.</u> , Тикунова Е.П., Голубев Е.К., Куркин Т.С., Шевченко В.Г., Озерин А.Н. ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА	2-О-88
Секция 3. Биополимеры и полимеры медицинского назначения Большой зал СПбНЦ Председатель: <u>Ю.А. Скорик</u>		
11-30 – 11-40	<u>Миляева О.Ю.</u> , Рафикова А.Р., Ротанова К.Ю., Носков Б.А. ДИНАМИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СФЕРИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ ГЛОБУЛЯРНЫХ БЕЛКОВ	3-О-40
11-40 – 11-50	<u>Подолько Е.Т.</u> , Нестерова Н.А., Панарин Е.Ф. БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНАЯ КОМПОЗИЦИЯ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ ОКСИКОРИЧНОЙ КИСЛОТЫ	3-О-41
11-50 – 12-00	<u>Хоманец Е.В.</u> , Григорьев Д.В., Сивцов Е.В. ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ГЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПОЛНЕННЫХ ДЕТОНАЦИОННЫМИ НАНОАЛМАЗАМИ	3-О-42
12-00 – 12-10	<u>Базылева К.Ю.</u> , Волков Д.А., Шарикова Н.А., Малахов С.Н., Григорьев Т.Е. МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЛИОФИЛИЗАЦИИ	3-О-43
12-10 – 12-20	<u>Хасанов Д.Г.</u> , Назарова Е.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРЧИ КУРИНОГО МЯСА С ПОМОЩЬЮ СЕНСОРА НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК НА НАНОКРИСТАЛЛАХ ХИТИНА	3-О-44
12-20 – 12-30	<u>Хавпачев М.А.</u> , Малык Б.В. ВЛИЯНИЕ ЙОДА И ЕГО СОЕДИНЕНИЙ НА СКОРОСТЬ РАЗЛОЖЕНИЯ ПОЛИЛАКТИДА	3-О-45
12-30 – 12-40	<u>Борисова Н.Н.</u> , Пыкин А.Л., Резвова М.А. БИОСОВМЕСТИМЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ КРИОГЕЛЕЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ ХИРУРГИИ	3-О-46
12-40 – 12-50	<u>Кордюкова А.П.</u> , Вихляева В.А., Блинкова А.А., Серегина Т.С., Дятлов В.А. СИНТЕЗ И ХАРАКТЕРИСТИКА БИСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ АДДУКТА ЭТИЛ-2-ЦИАНОАКРИЛАТА И ЖИРНЫХ СПИРТОВ	3-О-47
Секция 4. Теория и компьютерное моделирование Малый зал СПбНЦ Председатель: <u>В.П. Тошевилов</u>		
11-30 – 11-40	<u>Иванова А.С.</u> , Михайлов И.В., Полоцкий А.А., Даринский А.А., Борисов О.В. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАЗВОРАЧИВАНИЯ МАКРОМОЛЕКУЛЫ АМФИФИЛЬНОГО ГРЕБНЕОБРАЗНОГО СОПОЛИМЕРА	4-О-10

11-40 – 11-50	<u>Жолудев С.И., Петровский В.С., Потемкин И.И.</u> СРАВНЕНИЕ КОГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ КОМПЛЕКСОВ КОЛЬЦЕВЫХ И ЛИНЕЙНЫХ ПЕПТИДОВ С ПАВ: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	4-0-11
11-50 – 12-00	<u>Базайкин В.Я., Комолкин А.В., Маркелов Д.А.</u> КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ МЕМБРАНЫ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ПОЛИ-М-ФЕНИЛЕНИЗОФТАЛАМИДА, МОДИФИЦИРОВАННОЙ НАНОЧАСТИЦЕЙ U _i O-66 (NH ₂) МОФ, ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСИ ТОЛУОЛ/МЕТАНОЛ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ	4-0-12
12-00 – 12-10	<u>Назарычев В.М., Люлин С.В.</u> ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО РАСТЯЖЕНИЯ НА ТЕПЛОПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА АМОРФНЫХ И ЧАСТИЧНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИИМИДОВ: АТОМИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	4-0-13
12-10 – 12-20	<u>Фролкина М.А.</u> БИСТАБИЛЬНОСТЬ И СПОНТАННАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ СПИРАЛЕОБРАЗНЫХ ПИРИДИН-ФУРАНОВЫХ ОЛИГОМЕРОВ НАНОМЕТРОВОГО РАЗМЕРА	4-0-14
12-20 – 12-30	<u>Мельникова С.Д., Ларин С.В.</u> СТРУКТУРА, ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК ПОЛИЛАКТИД/ПОЛИБУТИЛЕНСУКЦИНАТ	4-0-15
12-30 – 12-40	<u>Ломовской В.А., Жуков В.А.</u> ДИССИПАТИВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПОЛИМЕРАХ «ПВС-КJ-J2»; РС-007UL1; RESIONE D01 В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР ОТ МИНУС 150°С ДО +150 °С	4-0-16
13-30 – 14-00	Заккрытие конференции	

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция 1. Синтез и модификация полимеров

- 1-Р-01** Бакаева М.А., Сашина Е.С., Хандобина К.М.
ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ПЛЕНОК, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЕРМОХРОМНЫМ ЛЕЙКОКРАСИТЕЛЕМ
- 1-Р-02** Барышева А.В., Суворов С.С., Воротынцев А.В.
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЯ СИНТЕЗА НЕОРГАНИЧЕСКОГО ПОЛИСИЛАЗАНА НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ НЕГО ПЛЕНОК ОКСИДА КРЕМНИЯ
- 1-Р-03** Бобрин Е.В., Лудин Д.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЛАКТИДА В ПРИСУТСТВИИ 2,5-ДИГИДРОКСИБЕНЗОХИНОНА-1,4 И АЦЕТАТА НАТРИЯ
- 1-Р-04** Боголепова О.В., Гринфельд Е.А., Седых В.А.
ПОЛУЧЕНИЕ МАЛОЭМУЛЬГАТОРНЫХ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ ЛАТЕКСОВ
- 1-Р-05** Бугров А.Н., Красилин А.А., Васильев Б.В., Храпова Е.К., Ваганов Г.В., Попова Е.Н., Анкудинов А.В.
СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ ПЛЁНОК НА ОСНОВЕ СОПОЛИУРЕТАНМОЧЕВИН И ХРИЗОТИЛОВЫХ НАНОТРУБОК
- 1-Р-06** Вайтусёнок А.А., Белоусов Г.К., Костюк С.В.
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ И ОДНОВРЕМЕННАЯ ФОТОИНДУЦИРУЕМАЯ РАДИКАЛЬНАЯ И СТУПЕНЧАТАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ 9-(4-ВИНИЛФЕНИЛ)КАРБАЗОЛА
- 1-Р-07** Васильев Б.В., Попова Е.Н., Ваганов Г.В., Светличный В.М., Бугров А.Н.
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА И ХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЖЕСТКИХ БЛОКОВ НА ТЕРМИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕГМЕНТНЫХ СОПОЛИУРЕТАНМОЧЕВИН
- 1-Р-08** Власов А.М., Григорьева А.О., Зайцев С.Д.
РН-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ АГЕНТЫ ОБРАТИМОЙ ПЕРЕДАЧИ ЦЕПИ В КОНТРОЛИРУЕМОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ВИНИЛОВЫХ МОНОМЕРОВ
- 1-Р-09** Гасымов М.М., Роговина С.З., Кузнецова О.П., Перепелицина Е.О., Шевченко В.Г.
ВОЗДЕЙСТВИЕ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА КОМПОЗИЦИИ ПОЛИЛАКТИДА С НАНОПЛАСТИНАМИ ГРАФИТА
- 1-Р-10** Даровских А.В., Тарасов А.Е., Романова Л.Б., Барина Л.С., Бадамшина Э.Р., Михайлов Ю.М.
ПОЛИМЕРЫ ЗВЕЗДОБРАЗНОГО СТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ НИТРАТОВ β -ЦИКЛОДЕКСТРИНОВ
- 1-Р-11** Жидоморова К.А., Спиридонова З.А., Семивеличенко Е.Д., Ивкин Д.Ю., Красиков В.Д., Еремин А.В.
КАЛЬЦИЙСОДЕРЖАЩИЕ ГИДРОГЕЛЕВЫЕ СИСТЕМЫ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ
- 1-Р-12** Жидоморова К.А., Сивцов Е.В., Красиков В.Д., Еремин А.В.
МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕТАЛЛ-ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЕВРОПИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНА
- 1-Р-13** Зубова В.Ю., Миняйло Е.О., Темников М.Н., Щеголихина О.И., Анисимов А.А., Музафаров А.М.
ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ГЕКСАМЕТИЛЦИКЛОТРИСИЛОКСАНА, ИНИЦИИРУЕМАЯ ФЕНИЛСИЛАНОЛАМИ

- 1-Р-14** Иванов И.В., Богорад Н.Н., Мильцов С.А., Якиманский А.В.
ТЕРМОИНДУЦИРОВАННЫЕ СЕТЧАТЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ НА
ОСНОВЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ЩЕТОК
- 1-Р-15** Иванов И.В., Богорад Н.Н., Кукаркина Н.Н., Якиманский А.В.
ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ГИБРИДНЫЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЩЕТКИ АВА-ТИПА
НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДА
- 1-Р-16** Прохорова И.Е., Щелкунова А.Ю., Сивак Т.П., Кадыкова Ю.А., Калганова С.Г.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА
ЭЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНО-ТКАНЕВОГО ПОЛОТНА
- 1-Р-17** Казанцева А.Ю., Транкина Е.С., Ханин Д.А., Любимов С.Е., Музафаров А.М.
АМИНОЛИЗ ЦИКЛОКАРБОНАТОВ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ
 γ -АМИНОПРОПИЛТРИЭТОКСИСИЛАНОМ
- 1-Р-18** Карпов Г.О., Бермешев М.В.
КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ПРОИЗВОДНЫХ
НОРБОРНЕНА НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСОВ ПАЛЛАДИЯ С БИДЕНТАТНЫМИ P-S
ЛИГАНДАМИ
- 1-Р-19** Карпова Е.А., Иванов А.М., Бредов Н.С., Солдатов М.А., Поляков В.А.
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА АМИНОЛИЗА КОРОТКОЦЕПНЫХ ЛИНЕЙНЫХ
ФОСФАЗЕНОВ
- 1-Р-20** Кириллов А.С., Горшков Н.И., Шевченко Н.Н., Красиков В.Д.
СВЕРХСШИТЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ СОРБЕНТЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ 4-
ВИНИЛПИРИДИНОМ И ГЛИЦИДИЛМЕТАКРИЛАТОМ: СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И
СОРБИЦИОННЫЕ СВОЙСТВА
- 1-Р-21** Козина Н.Д., Головина М.А., Курлыкин М.П.
ГЕКСААЗА[2₆]ЦИКЛОФАНЫ В СИНТЕЗЕ ЗВЕЗДООБРАЗНЫХ ПОЛИОКСАЗИНОВ
- 1-Р-22** Коротеев П.С., Илюхин А.Б., Ефимов Н.Н., Павловская М.В., Гришин Д.Ф.
КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЦИМАНТРЕНКАРБОКСИЛАТНЫХ
КОМПЛЕКСОВ РЗМ С ФЕРРОЦЕНФОСФИНОКСИДНЫМ ЛИГАНДОМ В
ПРОЦЕССАХ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ВИНИЛОВЫХ МОНОМЕРОВ
- 1-Р-23** Котельникова Н.Е., Сапрыкина Н.Н., Лаврентьев В., Власова Е.Н.
МИКРО- И НАНОЦЕЛЛЮЛОЗА, ПОЛУЧЕННАЯ ЭФФЕКТИВНЫМ И
ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЩАДЯЩИМ МЕТОДОМ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
ПРЕДОБРАБОТКЕ И ГИДРОЛИЗЕ ОТХОДОВ БУМАЖНОЙ МАССЫ
- 1-Р-24** Ксендзов Е.А., Прудников А.В., Шиман Д.И., Болотина Е.А., Костюк С.В.
ИНКАПСУЛИРОВАНИЕ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК В ПОЛИИЗОБУТИЛЕНОВОЙ
МАТРИЦЕ
- 1-Р-25** Курбатов В.Г., Пугачёва Т.А., Орган В.М., Малков Г.В.
РАЗРАБОТКА ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЫ АНТИОТРАЖАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ
ДЛЯ ФОТОЛИТОГРАФИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА С РАБОЧЕЙ ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 248
НМ
- 1-Р-26** Лаишевкина С.Г., Шевченко Н.Н.
ВЛИНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОГЕЛЕЙ НА ИХ
МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
- 1-Р-27** Лудин Д.В., Бобрина Е.В., Федюшкин И.Л.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАРБОКСИЛАТОВ НАТРИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ПОЛИЛАКТИДА БИМЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

- 1-Р-28** Митрофанова Е.В., Орган В.М., Курбатов В.Г.
СИНТЕЗ РАСТВОРИМЫХ ФОРМ ПОЛИАНИЛИНА И ПРИМЕНЕНИЕ ЕГО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АЛКИДНЫХ ПОКРЫТИЙ
- 1-Р-29** Митрошин А.М., Жукова Е.В., Мильцов С.А., Литвинова Л.С., Якиманский А.В.
СИНТЕЗ И СВОЙСТВА рН-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СОПОЛИФЛУОРОЕНОВ, СОДЕРЖАЩИХ ЦИАНИНОВЫЕ КРАСИТЕЛИ
- 1-Р-30** Могила Т.Н., Михальчук В.М., Лыга Р.И.
ЭПОКСИДНО-АМИННЫЕ КОМПОЗИТЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ОКСИДАМИ ЦИРКОНИЯ, КРЕМНИЯ И ТИТАНА
- 1-Р-31** Садовников К.С., Возняк А.И., Ильин С.О., Моронцев А.А., Жигарев В.А., Бермешев М.В.
МЕТАТЕЗИСНАЯ ОЛИГОМЕРИЗАЦИЯ 5-Н-БУТИЛНОРБОРЕНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ КАТАЛИЗАТОРА ГРАББСА ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ В ПРИСУТСТВИИ ДИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА МАЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ
- 1-Р-32** Мягкова Л.А., Смыслов Р.Ю., Некрасова Т.Н., Нестерова А.С., Попова Е.Н., Светличный В.М.
СИНТЕЗ НОВЫХ ПОЛИФЕНИЛХИНОЛИНОВ, СОДЕРЖАЩИХ ДИБЕНЗОТИОФЕНОВЫЕ И ТИОФЕНОВЫЕ ЗВЕНЬЯ
- 1-Р-33** Мягкова Л.А., Иванькова Е.М., Иванов А.Г., Елоховский В.Ю., Попова Е.Н., Литвинова Л.С., Нестерова А.С., Ваганов Г.В., Юдин В.Е., Светличный В.М.
СИНТЕЗ ПОЛИИМИДНЫХ ПЕНОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЦЕТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ АРОМАТИЧЕСКИХ ДИАМИНОВ И ДИАНГИДРИДОВ
- 1-Р-34** Нестерова А.С., Диденко А.Л., Ваганов Г.В., Камалов А.М., Попова Е.Н., Крафт В.Е., Иванькова Е.М., Юдин В.Е., Кудрявцев В.В.
МЕТОД ЭЛЕКТРОСПИННИНГА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИМИДСОДЕРЖАЩИХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ
- 1-Р-35** Покатилов Ф.А., Дерунова Н.И., Кижняев В.Н.
ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ИСКУССТВЕННЫХ ТЕТРАЗОЛСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ДЕКСТРАНА
- 1-Р-36** Полякова Е.А., Чудмаева Ю.В., Туманов В.А., Войтик А.Е., Сидельцев М.А., Карпов С.В.
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОДОДИСПЕРСИОННЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛНЫМ НИТРАТОМ ГАММА-ЦИКЛОДЕКСТРИНА
- 1-Р-37** Попова А.А., Шиман Д.И., Черникова Е.В., Будынина Е.М., Костюк С.В., Тимашов П.С., Голубева Е.Н.
ЭКОЛОГИЧНЫЙ ПОДХОД К СИНТЕЗУ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ: СО₂ КАК СРЕДА ДЛЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ
- 1-Р-38** Репш В.Ю., Кооль Е.А., Чурилина Е.В., Папков В.Н.
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АКРИЛОВЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ
- 1-Р-39** Роднянский Д.А., Юрьев А.Н., Папков В.Н.
СИНТЕЗ И СВОЙСТВА СОПОЛИМЕРОВ БУТАДИЕНА, АКРИЛОНИТРИЛА И ВИНИЛИДЕНХЛОРИДА
- 1-Р-40** Семина А.Ю., Смирнова М.Ю., Борисенко М.С., Вагин А.А.
ПОЛУЧЕНИЕ СУЛЬФОЭТИЛИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ДЕКСТРАНА

- 1-Р-41** Симонова Ю.А., Еременко И.В., Топчий М.А., Бондаренко Г.Н., Филатова М.П., Евлампиева Н.П., Тимофеева Л.М.
ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ ОПЦ-АГЕНТА НА ПОЛИМЕРИЗАЦИЮ ПРОТОНИРОВАННЫХ ДИАЛЛИЛАММОНИЕВЫХ МОНОМЕРОВ, ПРОТЕКАЮЩЕЙ С ЭФФЕКТИВНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ЦЕПИ НА МОНОМЕР
- 1-Р-42** Сорокина С.А., Кучкина Н.В., Михальченко А.В., Скупов К.М., Шифрина З.Б.
УЛЬТРАМИКРОПОРИСТЫЕ ПОЛИФЕНИЛЕНА С ВАРЬИРУЕМЫМ РАЗМЕРОМ ПОР И ПЛОЩАДЬЮ ПОВЕРХНОСТИ
- 1-Р-43** Сундарева Ю.А., Амарантов С.В., Ковылин Р.С., Пикулин А.В., Саломатина Е.В., Смирнова Л.А.
СОПОЛИМЕРЫ 4-ВИНИЛПИРИДИНА С N,N-ДИМЕТИЛАМИНОЭТИЛМЕТАКРИЛАТОМ КАК МАТРИЦА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА
- 1-Р-44** Сылко Д.Н., Понкратов Д.О., Малышкина И.А., Лозинская Е.И.
СИНТЕЗ ИОНПРОВОДЯЩИХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ МЕТОДОМ ОПЦ-ПОЛИМЕРИЗАЦИИ
- 1-Р-45** Фирсова А.В., Полухин Е.Л., Антман Е.И., Хлабыстов Е.Д.
ВЛИЯНИЕ АЛКОГОЛЯТОВ ЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА СИНТЕЗ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНЫХ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВ
- 1-Р-46** Брызгунова Е.Ю., Василевская А.Ю., Фирсова А.В., Полухин Е.Л.
СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО ЛИТИЕВОГО ПОЛИИЗОПРЕНА НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛ-АЛКОГОЛЯТНОГО КАТАЛИТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
- 1-Р-47** Шаляпина В.С., Наход М.А.
СИНТЕЗ ПРОЗРАЧНЫХ ПОЛИИМИДОВ МЕТОДОМ ОДНОСТАДИЙНОЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОЛИЦИКЛИЗАЦИИ В РАСТВОРЕ
- 1-Р-48** Шамагулова К.А., Пестов А.В.
ПОЛУЧЕНИЕ АЛЛИЛСОДЕРЖАЩИХ КАРБОНАТОВ И ИХ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ
- 1-Р-49** Шоипова Ф.Х., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф.
СПИНОВЫЕ ЛОВУШКИ В РЕАКЦИЯХ СОЧЕТАНИЯ БРОМСОДЕРЖАЩЕГО ПОЛИСТИРОЛА В ПРИСУТСТВИИ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕДИ(II) И РАЗЛИЧНЫХ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ
- 1-Р-50** Белобржецкая Л.Н., Лисовская Л.И., Лебедев В.Т.
ВОДОРАСТВОРИМЫЕ КОМПЛЕКСЫ ФУЛЛЕРЕНА C60 С ТРИБРОМОТИОФЕНОМ И ПОЛИ-N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНОМ
- 1-Р-51** Король Т.А., Шишов М.А., Щербаков А.Е.
ЭЛЕКТРОННЫЙ ТЕКСТИЛЬ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПОЛИМЕРОВ

Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов

- 2-Р-01** Абалов И.В., Гофман И.В.
ПРИМЕНИМОСТЬ ПРАВИЛА БАРКЕРА ДЛЯ МИКРО- И НАНОКОМПЗИТОВ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ
- 2-Р-02** Альхимович И.П., Байгозин Д.В.
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ИОНООБМЕННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИАМФОЛИТНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПАН

- 2-P-03** Афанасьева Н.В., Губанова Г.Н., Смирнова В.Е., Попова Е.Н., Кононова С.В.
РЕЛАКСАЦИОННЫЕ И ТЕРМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛИАМИДОИМИДА,
МОДИФИЦИРОВАННОГО ГИРОСИЛИКАТНЫМИ НАНОТРУБКАМИ
- 2-P-04** Баранов А.И., Будаговский И.А., Лагунов В.В., Золотко А.С., Смаев М.П., Смирнов П.А.,
Лазаренко П.И., Бобровский А.Ю.
ВОЗДЕЙСТВИЕ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ НА АМОРФНЫЙ ГРЕБНЕОБРАЗНЫЙ
АЗОПОЛИМЕР
- 2-P-05** Баско А.В., Почивалов К.В.
ФОРМИРОВАНИЕ ПОРИСТЫХ МИКРОСФЕР ИЗ СМЕСЕЙ ЧАСТИЧНО
КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ С НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫМИ
ВЕЩЕСТВАМИ
- 2-P-06** Бородина А.М., Костромин С.В., Бронников С.В.
ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ПУТЕМ ПИРОЛИЗА
ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ. СОЗДАНИЕ КОМПОЗИТОВ ПОЛИМЕР/УГЛЕРОДНЫЕ
КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ
- 2-P-07** Ходжаева Н.К., Хаккулов Ж.М., Холмунинов А.А., Бочек А.М.
МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАКРОИОНОВ В ВИДЕ НАНОПОКРЫТИЙ
- 2-P-08** Бузин Н.В., Киселёв А.Г., Гриднев А.А., Крашенинников В.Г.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИКАРБАМИДОВ И
ПОЛИУРЕТАНОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С ПОМОЩЬЮ
ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ
- 2-P-09** Грозеску А.Ю., Маслацова А.А., Агибалова Л.В., Маретина Е.Ю., Осетрова Л.В.,
Булкина А.К.
ВОЗМОЖНОСТЬ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА РЕЗИН НА ОСНОВЕ
БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ ПО ИХ ПИРОЛИЗАТАМ МЕТОДОМ ИКС
- 2-P-10** Буслаев Д.Л., Гофман И.В., Абалов И.В., Лаврентьев В.К., Власова Е.Н., Бочек А.М.
СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ
МЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ С ПОЛИУРЕТАНОМ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ РАСТВОРОВ
СМЕСЕЙ В ДИМЕТИЛАЦЕТАМИДЕ
- 2-P-11** Воробьев В.К., Просвирнина А.П., Сивцов Е.В., Соколова М.П., Смирнов М.А.
ЗАКОНОМЕРНОСТИ 3D-ПЕЧАТИ “ЧЕРНИЛАМИ” НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСИЙ
НАНОВОЛОКОН ЦЕЛЛЮЛОЗЫ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АМИНОГРУППАМИ
- 2-P-12** Вшивков С.А., Русинова Е.В.
РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ В
МАГНИТНОМ ПОЛЕ И В ЕГО ОТСУТСТВИИ
- 2-P-13** Герасимов Д.И., Курьиндин И.С., Лаврентьев В.К., Никонорова Н.А.,
Ельяшевич Г.К.
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭКСТРУДИРОВАННЫХ, ОТОЖЖЕННЫХ И
ПОРИСТЫХ ПЛЕНОК ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА
- 2-P-14** Григорьева Ю.Д., Коляганова О.В., Климов В.В.
ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СОПОЛИМЕРА ГЛИЦИДИЛМЕТАКРИЛАТА И
СТЕАРИЛМЕТАКРИЛАТА НА СВОБОДНУЮ ЭНЕРГИЮ ПОВЕРХНОСТИ
ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ
- 2-P-15** Губанова Г.Н., Петрова В.А., Кононова С.В., Попова Е.Н., Скорик Ю.А., Ключковская В.В.
ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МОРФОЛОГИЯ МУЛЬТИСЛОЙНЫХ
КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА
- 2-P-16** Дедов Н.А., Шукина И.А., Ильина Т.А., Костылева Е.И.
ГИДРОФОБНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ОЛИГОАЛКИЛГИДРИДСИЛОКСАНОВ

- 2-Р-17** Доммес О.А., Гостева А.А., Окатова О.В., Павлов Г.М.
ОСОБЕННОСТИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ МЕТА- И ПАРА-ИЗОМЕРОВ СУЛЬФАТИРОВАННЫХ ВОДОРАСТВОРИМЫХ АРОМАТИЧЕСКИХ ПОЛИАМИДОВ
- 2-Р-18** Евдокимова А.В., Шибеева В. Д., Агафонов А.В., Титов В.А., Краев А.С., Сироткин Н.А., Хлюстова А.В.
МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ СДГ-ПОЛИМЕР
- 2-Р-19** Ельяшевич Г.К., Курындин И.С., Пакальнис В.В.
НОВЫЙ ПОРИСТЫЙ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ ЛИТИЙ-ИОННОГО АККУМУЛЯТОРА
- 2-Р-20** Жуков В.И., Москалюк О.А., Федоров Г.Г., Цобкалло Е.С.
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ ДЛЯ ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
- 2-Р-21** Завидов О.В., Ревенков А.Р., Климов В.В., Гайдадин А.Н. Навроцкий А.В.
ЗАВИСИМОСТЬ ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ОТ ТИПА ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ
- 2-Р-22** Зеленцов М.Д., Симонова М.А., Ромашева М.М., Филиппов А.П., Замышляева О.Г.
СИНТЕЗ И СВОЙСТВА АМФИФИЛЬНЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА И БЕНЗИЛМЕТАКРИЛАТА В РАСТВОРАХ И НА РАЗЛИЧНЫХ МЕЖФАЗНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ
- 2-Р-23** Ибраева Ж.М., Ковалева А.К., Буркеева Г.К.
ОТВЕРЖДЕНИЕ ПОЛИПРОПИЛЕНГ ЛИКОЛЬФУМАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИМИЗИРОВАННОЙ ИНИЦИИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ «ХОЛОДНОГО» ОТВЕРЖДЕНИЯ
- 2-Р-24** Иванькова Е.М., Ваганов Г.В., Диденко А.Л., Касаткин И.А., Попова Е.Н., Юдин В.Е.
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДА Р-ДАДФЭ
- 2-Р-25** Ильина Т.А., Шукина И.А., Дедов Н.А., Костылева Е.И.
МОДИФИКАТОРЫ ДЛЯ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ И РЕЗИН
- 2-Р-26** Камалов А.М., Смирнова Н.В., Диденко А.Л., Соколова М.П., Колбе К.А., Иванов А.Г., Борисова М.Э., Юдин В.Е.
АКТИВАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА ДЛЯ ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ
- 2-Р-27** Карякина А.С., Кузьминова А.И., Дубовенко Р.Р., Дмитренко М.Е., Пенькова А.В.
НОВЫЕ ПЕРВАПОРАЦИОННЫЕ МЕМБРАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ КОМПОЗИТОВ ПОЛИЭФИРБЛОКАМИД/МЕТАЛЛОРГАНИЧЕСКАЯ КАРКАСНАЯ СТРУКТУРА
- 2-Р-28** Кирилэ Т.Ю., Козина Н.Д., Смирнова А.В., Родченко С.В., Теньковцев А.В., Филиппов А.П.
ПРОЦЕССЫ САМООРГАНИЗАЦИИ В ВОДНО-СОЛЕВЫХ РАСТВОРАХ ЗВЕЗДООБРАЗНЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИ-2-АЛКИЛ-2-ОКСАЗИНОВ
- 2-Р-29** Кондауров Р.Г., Мельников Е.А., Агибаева Л.Э.
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО ИМПРИНТИНГА ДЛЯ СОЗДАНИЯ СОРБЕНТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОЙ СОРБЦИИ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
- 2-Р-30** Кочева А.Н., Дерябин К.В., Рашевский А.А., Исламова Р.М.
САМОЗАЛЕЧИВАЮЩИЕСЯ ГИБКИЕ РЕДОКС-АКТИВНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ФЕРРОЦЕНИЛСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИСИЛОКСАНОВ

- 2-Р-31** Красова А.С., Тарабукина Е.Б., Филиппов А.П.
ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПРИВИТОГО СОПОЛИМЕРА
КАРБОКСИМЕТИЛПУЛЛУЛАНА С БОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ – СОПОЛИМЕРМИ N-
ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА И МЕТАКРИЛАМИДА
- 2-Р-32** Камалов А.М., Крафт В.Е., Ваганов Г.В., Нестерова А.С., Борисова М.Э., Иванькова Е.М., Юдин В.Е.
ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИИМИДНЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ
СО СВЕРХНИЗКОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ МЕТОДОМ
ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ
- 2-Р-33** Кузнецова Е.Д., Сафронов А.П., Адамова Л.В.
ТЕРМОДИНАМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛИДИАЛЛИЛДИМЕТИЛАММОНИЙ
ХЛОРИДА С ПОЛИАКРИЛОВОЙ И ПОЛИМЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТАМИ
- 2-Р-34** Курьиндин И.С., Лаврентьев В.К., Ельяшевич Г.К.
КРИСТАЛЛИЧНОСТЬ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПЛЕНОК ПОЛИЛАКТИДА
- 2-Р-35** Кучкина Н.В., Сорокина С.А., Михайлов С.П., Васильев А.Л., Матвеева В.Г., Шифрина З.Б.
РУТЕНИЙ-СОДЕРЖАЩИЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ
ПИРИДИЛФЕНИЛЕНОВОГО ПОЛИМЕРА КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ
ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ГИДРИРОВАНИЯ ЛЕВУЛИНОВОЙ КИСЛОТЫ
- 2-Р-36** Ломовской В. А., Абатурова Н.А., Ломовская Н.Ю., Галушко Т.Б., Хлебникова О.А.
РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В НАНОКОМОПОЗИТЕ ПОЛИВИНИЛОВЫЙ
СПИРТ - СЕРЕБРО
- 2-Р-37** Макаров М.Ю., Шур И.М., Вшивков С.А.
ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАЗМЕРЫ
МАКРОМОЛЕКУЛ Na-КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ
- 2-Р-38** Маслацова А.А., Полянский В.И., Грозеску А.Ю., Булкина А.К., Плешков А.В., Божевольнов В.Б.
КВАЗИРАВНОВЕСНЫЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУТАДИЕН-
НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА
- 2-Р-39** Мельников Е.А., Кондауров Р.Г., Агибаева Л.Э.
РАЗРАБОТКА ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИОНИТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА
ОСНОВЕ ГЛИЦИДИЛОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ БЕНЗИЛАМИНА И ПОЛИАМИНОВ
ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОЙ СОРБЦИИ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
- 2-Р-40** Микулан А.Я., Дубовенко Р.Р., Кузьминова А.И., Дмитренко М.Е., Пенькова А.В.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИХ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ В
ПРОЦЕССЕ СОЗДАНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ НОВЫХ МЕМБРАН СО СМЕШАННОЙ
МАТРИЦЕЙ
- 2-Р-41** Микулан А.Я., Кузьминова А.И., Дубовенко Р.Р., Дмитренко М.Е., Пенькова А.В.
РАЗРАБОТКА И ИЗУЧЕНИЕ НОВЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ
КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ МЕТАЛЛ-
ОРГАНИЧЕСКОЙ КАРКАСНОЙ СТРУКТУРОЙ Zn(BIM)
- 2-Р-42** Мирошниченко Д.В., Шалыгин М.Г.
ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕНОСА ПАРОВ ВОДЫ И МЕТАНОЛА В МЕМБРАНАХ НА
ОСНОВЕ ПОЛИФЕНИЛЕН ОКСИДА
- 2-Р-43** Тихомирова Е.Р., Александров Д.М., Михаилиди А.М.
МЕХАНИЧЕСКИЕ, ОПТИЧЕСКИЕ И ПЕЧАТНЫЕ СВОЙСТВА КАРТОНОВ,
ПОЛУЧЕННЫХ С ДОБАВЛЕНИЕМ ВТОРИЧНОГО ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ВОЛОКНА

- 2-Р-44** Михаилиди А.М., Горожанкина М.А., Кондратьев В.М.
ГИДРОГЕЛИ ИЗ ПЕРЕРАБОТАННОЙ МАКУЛАТУРЫ КАК ИСТОЧНИКИ ВОДЫ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
- 2-Р-45** Михайловская О.А., Сушкова К.Д., Кузьмина А. И., Пенькова А.В., Дмитренко М.Е.
РАЗРАБОТКА И ИЗУЧЕНИЕ ПЕРВАПОРАЦИОННЫХ МЕМБРАН ИЗ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОГО КОМПЛЕКСА ПОЛИЭТИЛЕНАМИНА С АЛЬГИНАТОМ НАТРИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОКСИДОМ ГРАФЕНА
- 2-Р-46** Мызников Д.Д., Кузьмина А.И., Дубовенко Р.Р., Дмитренко М.Е., Пенькова А.В.
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ПЕРВАПОРАЦИОННЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ АЛЬГИНАТА НАТРИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИМИ КАРКАСНЫМИ ПОЛИМЕРАМИ
- 2-Р-47** Никитина Е.А., Капралова В.М., Сударь Н.Т.
ОПТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОГО НАНОКОМПОЗИЦИОННОГО ДИЭЛЕКТРИКА НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И ФУЛЛЕРИНОЛА C₆₀(OH)₄₄
- 2-Р-48** Отвагина К.В., Клейман Г.М., Маркин З.А., Сазанова Т.С., Казарина О.В.
ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО РАЗДЕЛЕНИЯ В СМЕСЕВОЙ КОМПОЗИЦИИ ПОЛИАМИД–ПОЛИЭТИЛЕН ОКСИД НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ГАЗОТРАНСПОРНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ
- 2-Р-49** Павлов А.А., Камалов А.М., Борисова М.Э., Диденко А.Л.
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИИМИДОВ С РАЗНОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ МОЛЕКУЛ
- 2-Р-50** Чалых А.Е., Герасимов В.К., Щербина А.А., Петрова Т.Ф.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМАХ
- 2-Р-51** Подзорова М.В., Тертышная Ю.В.
ВОЗДЕЙСТВИЕ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПРОЦЕСС ДЕСТРУКЦИИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА
- 2-Р-52** Полотнянщиков К.С., Светличный В.М., Ваганов Г.В., Иванов А.Г., Иванькова Е.М., Камалов А.М., Мягкова Л.А., Попова Е.М., Юдин В.Е.
ВЛИЯНИЕ АЛИФАТИЧЕСКОГО ДИАМИНА В СОСТАВЕ ФОРПОЛИМЕРНОЙ ПЕНООБРАЗУЮЩЕЙ КОМПОЗИЦИИ НА СВОЙСТВА ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПЕНОПОЛИИМИДА
- 2-Р-53** Полоцкая Г.А., Гойхман М.Я., Подешво И.В., Лорещян Н.Л., Файков И.И., Пулялина А.Ю.
ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОПОЛИ(ГИДРАЗИДИМИД)А И ЕГО КОМПЛЕКСА с Cu(I) ПРИ МЕМБРАННОЙ ОЧИСТКЕ ДИМЕТИЛКАРБОНАТА
- 2-Р-54** Полоцкая Г.А., Курьиндин И.С., Зоолшоев З.Ф., Файков И.И., Пулялина А.Ю.
ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО МОДИФИКАТОРА, СОСТОЯЩЕГО ИЗ ЗВЕЗДООБРАЗНЫХ МАКРОМОЛЕКУЛ И ИОННОЙ ЖИДКОСТИ, НА СТРУКТУРУ И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИАМИДНОЙ МЕМБРАНЫ
- 2-Р-55** Пономарева Д.А., Реут Е.А., Серхачева Н.С., Черникова Е.В., Прокопов Н.И.
ПОВЕДЕНИЕ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА И АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА В ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКИХ ДИСПЕРСИЯХ
- 2-Р-56** Попова Е.Н., Ваганов Г.В., Диденко А.Л., Юдин В.Е.
ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДА Р-ОДФО МЕТОДОМ ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

- 2-Р-57** Попова С.М., Резниченко Д.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРИ
ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ СИЛОКСАНОВЫХ КАУЧУКОВ МЕТАЛЛАМИ
ПЕРЕМЕННОЙ ВАЛЕНТНОСТИ
- 2-Р-58** Почивалов К.В., Баско А.В., Лебедева Т.Н.
ПОЛИМЕРНЫЕ СОКРИСТАЛЛЫ В СМЕСЯХ ПОЛИЭТИЛЕНОКСИДА С
ТИМОЛОМ: ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ, ТЕРМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ
- 2-Р-59** Прядезников Б.Ю., Прядезникова А.А., Москалюк О.А., Бутузов В.Н.
ТЕПЛОРЕГУЛИРУЮЩИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ:
МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ
- 2-Р-60** Прядезникова А.А., Прядезников Б.Ю., Москалюк О.А., Бутузов В.Н.
ОБЗОР И АНАЛИЗ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ С ФАЗОВЫМ
ПЕРЕХОДОМ
- 2-Р-61** Птицын Д.А., Константинова Е.П., Клевцова И.В.
НАПРАВЛЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ВСПУЧИВАЮЩЕЙСЯ
КРАСКИ ОЛИГОМЕРНЫМИ ПАВАМИ
- 2-Р-62** Пузикова М.Е., Кузьминова А.И., Дубовенко Р.Р., Дмитренко М.Е., Пенькова А.В.
РАЗРАБОТКА И ИЗУЧЕНИЕ НОВЫХ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕМБРАН НА
ОСНОВЕ АЦЕТАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ
ЧАСТИЦАМИ
- 2-Р-63** Пулатова Ф.А., Асроров У.А., Ходжаева Н.К., Инагамов С.Я.
СТРУКТУРА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ
КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИСАХАРИДА
НАТРИЙКАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ПОЛИАКРИЛАМИДА
- 2-Р-64** Рафикова А.Р., Миляева О.Ю., Носков Б.А.
ДИНАМИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА АДСОРБЦИОННЫХ ПЛЕНОК
ФИБРИЛЛ К-КАЗЕИНА
- 2-Р-65** Рахманов А.А., Липин В.А., Бугров А.Н.
РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ И СПЕЦИАЛЬНОЙ
ОДЕЖДЫ МЕТОДОМ 3D ПЕЧАТИ ПОЛИМЕРОВ И СОЗДАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ
СИСТЕМ НА ИХ ОСНОВЕ
- 2-Р-66** Эшкурбонов Ф.Б., Рахмонкулов Ж.Э., Абдурахмонов Ф.Р., Сафарова Э.Р.
ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ
КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИХ ИОНИТОВ
- 2-Р-67** Ревенков А.Р., Завидов О.В., Климов В.В., Навроцкий А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА
ИОННУЮ ПРОВОДИМОСТЬ ТВЕРДЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА
ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА
- 2-Р-68** Родченко С.В., Блохин А.Н., Разина А.Б., Кирилт Т.Ю., Козина Н.Д., Филиппов А.П.,
Теньковцев А.В.
КОНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АЛЬТЕРНАТНЫХ
ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЩЕТОК
- 2-Р-69** Ромашева М.М., Симонова М.А., Каскевич К.И., Зеленцов М.Д., Якиманский А.В.,
Филиппов А.П.
ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ ОСНОВНОЙ ЦЕПИ НА СВОЙСТВА МОЛЕКУЛЯРНЫХ ЩЕТОК
С БОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ ПОЛИМЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И ОСНОВНОЙ
ПОЛИФЛУОРОНОВОЙ ЦЕПЬЮ В РАСТВОРАХ

- 2-Р-70** Ромашева М.М., Демьянцева Е.Ю., Смит Р.А.
ПОЛУЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ПОРОШКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ОДНОЛЕТНЕГО ТРЯВЯНИСТОГО РАСТЕНИЯ
HELIANTHUS TUBEROSUS
- 2-Р-71** Ротанова К.Ю., Миляева О.Ю., Носков Б.А.
НАНЕСЕННЫЕ ПЛЕНКИ СФЕРИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ БСА НА ПОВЕРХНОСТИ
ЖИДКОСТИ
- 2-Р-72** Румянцева А.В., Котелкова Е.О., Большунова Е.А., Суханова Т. Е.
ВЛИЯНИЕ КОРУНДОВЫХ МИКРОСФЕР НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И
МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ
ПРОПИЛЕНОКСИДНОГО КАУЧУКА
- 2-Р-73** Савчук А. В., Сеничев В. Ю.
ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НЕИОНОГЕННЫХ ПАВ НА СВОЙСТВА
ПОЛИУРЕТАНМОЧЕВИННЫХ ПЛЕНОК
- 2-Р-74** Саломатина Е.В., Шелудько П.Н., Фукина Д.Г., Смирнова Л.А.
ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ОРГАНО-НЕОГАНИЧЕСКИХ
СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИТИТАНОКСИДА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ОКСИДОМ
ЦИРКОНИЯ
- 2-Р-75** Сидоров О.И., Беляков Д.А., Дубков К.А., Плешаков Д.В., Шантарович В.П.
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА НА
ОСНОВЕ НЕНАСЫЩЕННОГО ПОЛИКЕТОНА И ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ
ЭПОКСИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ
- 2-Р-76** Силантьева Е.В., Реут Е.А., Лобанова Н.А., Погорелый А.М., Серхачева Н.С.
ВЛИЯНИЕ ИОНОВ МЕДИ НА ПОВЕДЕНИЕ ДИБЛОК-СОПОЛИМЕРА N-
ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА И АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ В ВОДЕ
- 2-Р-77** Симонова М.А., Садков Д.А., Каморин Д.М., Казанцев О.А., Филиппов А.П.
СТРУКТУРНО-КОНФОРМАЦИОННЫЕ И ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА
СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ОЛИГООКСИАЛКИЛЕНОВЫХ МОНОМЕРОВ
- 2-Р-78** Ситникова А.О., Капралова В.М., Сударь Н.Т.
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА
ОСНОВЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ПРОВОДЯЩИХ ПОЛИМЕРОВ
- 2-Р-79** Смирнова А.В., Кирилэ Т.Ю., Родченко С.В., Козина Н.Д., Теньковцев А.В. Филиппов
А.П.
ПОВЕДЕНИЕ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИ-2-АЛКИЛ-5,6-ДИГИДРООКСАЗИНОВ
В ВОДНО-СОЛЕВЫХ РАСТВОРАХ
- 2-Р-80** Сундарева Ю.А., Лукичев И.С., Пикулин А.В., Лудин Д.В., Саломатина Е.В., Смирнова
Л.А.
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА В РАСТВОРАХ И
ПЛЕНКАХ АМФИФИЛЬНЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ СТИРОЛА С ПОЛЯРНЫМИ
БЛОКАМИ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ
- 2-Р-81** Сушкова К.Д., Дмитренко М.Е., Дубовенко Р.Р., Кузьминова А.И., Пенькова А.В.
РАЗРАБОТКА И ИЗУЧЕНИЕ ПЛЕНОК ИЗ КАРРАГИНАНА/КРАХМАЛА,
АРМИРОВАННЫХ НАНОЦЕЛЛЮЛОЗОЙ И ГЕЛЕМ АЛОЭ ВЕРА, ДЛЯ УПАКОВКИ
И ХРАНЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ
- 2-Р-82** Тарабукина Е.Б., Красова А.С., Филиппов А.П., Constantin M., Ailiesei G. Fundueanu G.
МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА, СТРУКТУРА И ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ
КАРБОКСИМЕТИЛПУЛУЛУЛАНА С ПРИВИТЫМИ ЦЕПЯМИ АКРИЛАМИДОВ

- 2-Р-83** Ткачев В.В., Александров А.И., Гончарук Г.П., Евтушенко Ю.М.
РАЗРУШЕНИЕ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИ-АНГИДРИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО И КВАРЦЕВОЙ ПУДРЫ ПРИ УДАРНОМ СЖАТИИ
- 2-Р-84** Токарева М.Д., Русинова Е.В.
ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В СИСТЕМЕ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ – ЭТИЛАЦЕТАТ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ И В ЕГО ОТСУТСТВИЕ
- 2-Р-85** Хайруллин А.Р., Афанасьева Н.В., Кононова С.В.
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ПОДВИЖНОСТЬ ПРЕКУРСОРОВ NAFION С РАЗНЫМ ЧИСЛОМ ЗВЕНЬЕВ В ПОВТОРЯЮЩИХСЯ УЧАСТКАХ ОСНОВНОЙ ЦЕПИ, РАЗДЕЛЯЮЩИХ СОСЕДНИЕ ТОЧКИ ВЕТВЛЕНИЯ
- 2-Р-86** Хаккулов Ж.М., Темиров З.Ш., Бочек А.М., Эргашова М., Султонов А.П.
ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЕ НАНОВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛАМИДА И ЕГО КОМПОЗИТОВ И ИХ СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
- 2-Р-87** Ломовской В.А., Шатохина С.А., Казберов Р.Я., Ломовская Н.Ю., Хлебникова О.А.
КОНЦЕНТРАЦИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ОБЛАСТЕЙ НЕУПРУГОСТИ И ВЫСОКОЭЛАСТИЧНОСТИ ДЛЯ СИСТЕМ ХПВС-(100-Х)ХЗ
- 2-Р-88** Ходжаева Н.К., Холмуминов А.А.
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИАКРИЛАМИДА
- 2-Р-89** Хребина А.Д., Зорин И.М., Власов П.С., Носков Б.А.
ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК СОПОЛИМЕРОВ СТИРОЛА И ГИДРОФОБИЗИРОВАННОГО ВИНИЛБЕНЗИЛА НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
- 2-Р-90** Чалых А.Е., Вокаль М.В.
АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ДИФфуЗИОННЫХ И МЕЖФАЗНЫХ ЗОН
- 2-Р-91** Чамкина Е.С., Сорокина С.А., Кучкина Н.В., Михальченко А.В., Михайлов С.П., Сульман М.Г., Шифрина З.Б.
ГИБРИДНЫЕ ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКИЕ КАТАЛИЗАТОРЫ С НАНЕСЕННЫМ ПОЛИМЕРНЫМ СЛОЕМ ДЛЯ ГИДРИРОВАНИЯ ЛЕВУЛИНОВОЙ КИСЛОТЫ
- 2-Р-92** Четверикова Д.А., Похвищева Н.В., Пешкова М.А.
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОТКЛИКА ПОЛИМЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ УМЕРЕННО ЛИПОФИЛЬНЫЕ ЭЛЕТКРОЛИТЫ
- 2-Р-93** Шалина Н.А., Каримов Д.Н., Архарова Н.А., Ключковская В.В., Громовых Т.И.
СТРУКТУРА ГЕЛЬ-ПЛЕНОК БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, СИНТЕЗИРУЕМОЙ ШТАММОМ GLUCONACETOBACTER HANSENI GH-1/2008 НА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ С МНОГОАТОМНЫМИ СПИРТАМИ
- 2-Р-94** Шелудько П.Н., Саломатина Е.В., Смирнова Л.А.
НАНОКОМПОЗИТЫ TiO₂/Au В МАТРИЦЕ ХИТОЗАНА И ИХ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
- 2-Р-95** Шульгин А.В., Москалюк О.А.
НИТЕВИДНЫЕ АККУМУЛЯТОРНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ
- 2-Р-96** Шукина И.А., Дедов Н.А., Ильина Т.А., Костылева Е.И.
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ САМООЧИЩАЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИОРГАНОГИДРИДСИЛОКСАНОВ И ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИ АКТИВНОГО ДИОКСИДА ТИТАНА
- 2-Р-97** Якубова Л.Ю., Дмитриенко А.О., Подзорова М.В.
ИЗМЕНЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Секция 3. Биополимеры и полимеры медицинского назначения

- 3-Р-01** Арлакова Е.А., Бочек А.М., Шевченко Н.Н.
ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПРИГОТОВЛЕНИЯ НА РАЗМЕРЫ ЧАСТИЦ ЗЕИНА
- 3-Р-02** Арлакова Е.А., Бочек А.М., Шевченко Н.Н.
ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ КАРБОКСИМЕТИЛХИТОЗАНА
- 3-Р-03** Бокатый А.Н., Дубашинская Н.В., Скорик Ю.А.
ИНТРАВИТРЕАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ГЛЮКОКОРТИКОСТЕРОИДОВ
НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ
- 3-Р-04** Болгова А.Л., Архарова Н.А., Каримов Д.Н., Клечковская В.В., Громовых Т.И.
ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ ГЕЛЬ-ПЛЕНОК БАКТЕРИАЛЬНОЙ
ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, СИНТЕЗИРУЕМОЙ ШТАММОМ *GLUCONACETOBACTER*
HANSENI GH-1/2008 ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ
- 3-Р-05** Борисенко М.С., Вагин А.А., Тарабукина Е.Б., Красова А.С., Смирнова М.Ю.,
Сёмина А.Ю.
МОЛЕКУЛЯРНЫЕ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
СОПОЛИМЕРОВ 2-АКРИЛАМИДО-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ С
2-ГИДРОКСИЭТИЛМЕТАКРИЛАТОМ
- 3-Р-06** Боровской А.Ю., Дубашинская Н.В., Скорик Ю.А.
ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА,
ХОНДРОИТИН-СУЛЬФАТА И КОЛИСТИНА
- 3-Р-07** Вагина Е.М., Пошина Д.Н., Скорик Ю.А.
НАНОВОЛОКНИСТЫЕ СКАФФОЛДЫ НА ОСНОВЕ ФОТОСШИВАЕМЫХ
ПОЛИСАХАРИДОВ
- 3-Р-08** Вагин А.А., Борисенко М.С., Тарабукина Е.Б., Соловский М.В.
РАДИКАЛЬНАЯ СОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ 2-АКРИЛАМИДО-2-
МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ С 2-ГИДРОКСИЭТИЛМЕТАКРИЛАТОМ В
ПОЛЯРНЫХ СРЕДАХ
- 3-Р-09** Варьян И.А., Тюбаева П.М.
СОЗДАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-3-
ГИДРОКСИБУТИРАТА ДЛЯ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ МЕДИЦИНЫ
- 3-Р-10** Гасилова Е.Р., Александрова Г.П.
ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ pH-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ КОЛЛОИДЫ
НАНОБИОКОМПОЗИТОВ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА С ПОЛИГАЛАКТУРОНОВОЙ
КИСЛОТОЙ
- 3-Р-11** Москалюк О.А., Герасимова Д.С.
СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ КАРКАСОВ
ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОСТНОЙ ТКАНИ
- 3-Р-12** Григорьев Д.В., Сивцов Е.В., Хоманец Е.В., Успенская М.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТИКСОТРОПНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКРИЛОВЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ,
НАПОЛНЕННЫХ ДЕТОНАЦИОННЫМИ НАНОАЛМАЗАМИ
- 3-Р-13** Григорьева А.О., Зайцев С.Д.
РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ПОЛИМЕРНОГО КОСТНОГО ЦЕМЕНТА ДЛЯ
ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ СУСТАВОВ
- 3-Р-14** Дубров Е.Н., Киппер А.И., Меркушева С.С., Каленик Д.Д., Безрукова М.А.
АНАЛИЗ МОЛЕКУЛЯРНЫХ И РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ИМИНОКОМПЛЕКСОВ ВАНАДИЯ(IV)

- 3-Р-15** Завражных Н.А., Попов Г.И., Добровольская И.П., Иванькова Е.М., Юкина Г.Ю., Юдин В.Е.
ПОРИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И ПОЛИКАПРОЛАКТОНА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СОСУДИСТОЙ ХИРУРГИИ
- 3-Р-16** Киппер А.И., Боровикова Л.Н., Гаркушина И.С.
ВЛИЯНИЕ ГИДРОКСИЛЬНОЙ ГРУППЫ В СТРУКТУРЕ ПРОТИВООПУХОЛЕВЫХ АНТРАЦИКЛИНОВЫХ АНТИБИОТИКОВ НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ И РАЗМЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКСОВ «НАНОЧАСТИЦА СЕЛЕНА – ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОН – АНТИБИОТИК»
- 3-Р-17** Кибирев М.А., Федоренко М.Д., Алексеева А.К., Друян Л.М., Кониная М.Д., Широкова И.Ю., Кучук В.И., Шевченко Н.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЕТЕРОКОАГУЛЯЦИИ ЛАТЕКСОВ ПОЛИСТИРОЛА В РАСТВОРАХ С РАЗНОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ЭЛЕКТРОЛИТА
- 3-Р-18** Сударева Н.Н., Коржикова-Влах Е.Г., Тарасенко И.И., Колбе К.А., Суслов Д.Н.
НАНОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИНОКИСЛОТ В КАЧЕСТВЕ СИСТЕМ ДОСТАВКИ ПРОТИВООПУХОЛЕВОГО АНТИБИОТИКА ДОКСОРУБИЦИНА
- 3-Р-19** Котельникова Н.Е., Власова Е.Н.
ГИБРИДНЫЕ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ГИДРОГЕЛЕЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ОТХОДОВ БУМАЖНОЙ МАССЫ
- 3-Р-20** Кузич А.А., Огородников В.Э., Бычковский П.М., Гофман И.В., Хрипунов А.К., Смыслов Р.Ю.
РАНОЗАЖИВЛЯЮЩИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ОКИСЛЕННОЙ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ С НАНОЧАСТИЦАМИ ДИОКСИДА ЦЕРИЯ
- 3-Р-21** Курилова Н.М., Сафронов А.П.
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АЛЬГИНАТОВ С ВОДОЙ
- 3-Р-22** Ихтиярова Г.А., Кучкарова Д.У.
СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХИТОЗАНА ИЗ ПОДМОРА ПЧЕЛ *APIS MELLIFERA*
- 3-Р-23** Малахова И.И., Сантурян Ю.Г., Красиков В.Д., Панарин Е.Ф.
МЕТОД ТОНКОСЛОЙНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ ДЛЯ АНАЛИЗА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ
- 3-Р-24** Малык Б.В., Хавпачев М.А.
ГИДРОЛИЗ ВОЛОКОН ПОЛИЛАКТИДА, НАПОЛНЕННЫХ ЙОДИДОМ КАЛИЯ
- 3-Р-25** Матвиенко В.Д., Никифоров А.А., Гофман И.В., Клюкин И.Н., Жданов А.П., Жижин К.Ю., Коржикова-Влах Е.Г., Степанова М.А.
КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИ- И ОЛИГОЛАКТИДА С КОВАЛЕНТНО СВЯЗАННЫМИ КЛОЗО-БОРАТАМИ
- 3-Р-26** Мельник Е.Ю., Мартынов Г.А., Лозовский М.С., Больбасов Е.Н., Бощенко В.С., Маспанов Д.А.
ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОЧЕТОЧНИКОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОСПИННИНГА В РЕКОНСТРУКТИВНОЙ УРОЛОГИИ
- 3-Р-27** Мичуров Д.А., Лозинский В.И.
КОМПОЗИТНЫЕ КРИОГЕЛИ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И ПОЛИ(3-ОКСИМАСЛЯННОЙ КИСЛОТЫ), ПОЛУЧЕННЫЕ В СРЕДЕ ОБЩЕГО РАСТВОРИТЕЛЯ

- 3-Р-28** Мкртчян С.С., Семивеличенко Е.Д., Ивкин Д.Ю., Красиков В.Д., Еремин А.В.
ПОЛИМЕРНО-БЕЛКОВЫЕ КОНЬЮГАТЫ НА ОСНОВЕ ЦИТОХРОМА С МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ
- 3-Р-29** Назарова О.В., Некрасова Т.Н., Фишер А.И., Золотова Ю.И., Нестерова Н.А., Добродумов А.В., Безрукова М.А., Шуваева О.Д., Панарин Е.Ф.
БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ СОПОЛИМЕРЫ ВИНИЛФОСФОНОВОЙ КИСЛОТЫ И ИХ ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ С ИОНАМИ ЛАНТАНОИДОВ
- 3-Р-30** Нестерова Н.А., Некрасова Т.Н., Фишер А.И., Гаршинина А.В., Шуваева О.Д., Захарова Н.В., Панарин Е.Ф.
ДИЗАЙН БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ЛИГАНДОВ И ИХ ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ С ИОНАМИ ТЕРБИЯ
- 3-Р-31** Новикова В.П., Дубашинская Н.В., Скорик Ю.А.
КОНЬЮГАТЫ ПРЕДНИЗОЛОНА С ХИТОЗАНОМ
- 3-Р-32** Панаева М.А., Быков А.Г.
ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ НА СТРУКТУРУ НАНЕСЕННЫХ ПЛЕНОК ФОСФОЛИПИДОВ
- 3-Р-33** Петрова В.А., Гофман И.В., Головкин А.С., Мишанин А.И., Дубашинская Н.В., Якиманский А.В., Скорик Ю.А.
КОМПОЗИТЫ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ С ПОЛИСАХАРИДАМИ, СОДЕРЖАЩИЕ НАНОРАЗМЕРНЫЙ ОКСИД ЦЕРИЯ
- 3-Р-34** Розова Е.Ю., Зоолшоев З.Ф., Курындин И.С., Сапрыкина Н.Н., Ельшевич Г.К.
МОРФОЛОГИЯ, СОРБЦИОННЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАБУХАЮЩИХ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И ПОЛИАКРИЛАМИДА
- 3-Р-35** Ромашкин И.В., Каримов Д.Н., Архарова Н.А., Громовых Т.И., Клечковская В.В.
СТРУКТУРНАЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ГИБРИДНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ *GLUCONACETOBACTER HANSENI GH-1/2008* И МИКРОКРИСТАЛЛОВ РИБОФЛАВИНА
- 3-Р-36** Селякова Д.Ю., Москалюк О.А.
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА МЕДИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ
- 3-Р-37** Ситникова А.О., Гасилова Е.Р., Пошина Д.А., Скорик Ю.А.
ВЛИЯНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ ХИТОЗАНА НА СТРУКТУРУ ЕГО ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ С ФУКОИДАНОМ
- 3-Р-38** Смирнова К.А., Хижняк С.Д., Пахомов П.М.
ПРОЦЕССЫ САМООРГАНИЗАЦИИ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ НА ОСНОВЕ ПРОСТЕЙШИХ АМИНОКИСЛОТ, НИТРАТА СЕРЕБРА И ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА
- 3-Р-39** Соломаха О.А., Степанова М.А., Гофман И.В., Рабчинский М.К., Коржикова-Влах Е.Г.
ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИКАПРОЛАКТОНА И МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ГРАФЕНОВ ОЛИГОМЕРАМИ ГЛУТАМИНОВОЙ КИСЛОТЫ
- 3-Р-40** Степанова М., Добродумов А., Гофман И., Коржиков-Влах В., Егорова Т., Демьянова Е., Рубинштейн А., Трулев А., Кудрявцев И., Клюкин И., Жданов А., Жижин К., Коржикова-Влах Е.
ТРЕХМЕРНЫЕ СУПЕРМАКРОПОРИСТЫЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ СКАФФОЛДЫ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ И ЛОКАЛЬНОЙ ПОСТОПЕРАЦИОННОЙ ТЕРАПИИ

- 3-Р-41** Сударева Н.Н., Суворова О.М., Сапрыкина Н.Н., Шакирова А.И., Пятиизбянцев Т.А., Лепик К.В., Галибин О.В., Моисеев И.С.
СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ МАЛЫХ ИНТЕРФЕРИРУЮЩИХ РНК – ИНГИБИТОРОВ ЭКСПРЕССИИ БЕЛКА ТЕПЛООВОГО ШОКА НА БАЗЕ СУБМИКРОРАЗМЕРНЫХ ВАТЕРИТОВ КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ
- 3-Р-42** Сухов Б.Г., Конькова Т.В., Клушина Н.В., Евсеев И.Д., Ромашенко А.В.
МУЛЬТИЭЛЕМЕНТНЫЕ (БОР-, ГАДОЛИНИЙ)-СОДЕРЖАЩИЕ НАНОБИОКОМПЗИТЫ ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ТЕРАНОСТИКИ
- 3-Р-43** Устюхина И.С., Петрова В.А., Дубашинская Н.В., Скорик Ю.А.
ПОЛИМЕРНЫЕ МИКРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ ФУКОИДАНА И НАНОВОЛОКОН ХИТИНА ДЛЯ МЕСТНОЙ ДОСТАВКИ МЕТРОНИДАЗОЛА
- 3-Р-44** Чернова У.В., Больбасов Е.Н.
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СМАЧИВАЕМОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ВОДОЙ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПЗИТНЫХ МЕМБРАН ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКИ ПОЛОСТИ РТА
- 3-Р-45** Шарикова Н.А., Вдовиченко А.Ю., Шариков Р.В., Базылева К.Ю., Григорьев Т.Е.
ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ КЛЕТОК
- 3-Р-46** Шандыбо М.А., Аниськин И.С.
АЛЬГИНАТЫ КАК "ЗЕЛЕННЫЕ" НОСИТЕЛИ ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ ХИРАЛЬНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ КАТАЛИЗАТОРОВ
- 3-Р-47** Якубова Л.Ю., Подзорова М.В., Тертышная Ю.В., Селезнева Л.Д.
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИМЕРОВ: СТРУКТУРА И СВОЙСТВА
- 3-Р-48** Рахмонбердиев Г., Хусенов А.Ш., Ибрагимова К.С., Тилаков Ж.Р.
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ИНУЛИНА

Секция 4. Теория и компьютерное моделирование

- 4-Р-01** Алексеева М.С., Кондратюк Н.Д.
О СВЯЗИ УПРУГИХ СВОЙСТВ И ПОРИСТОСТИ КЕРОГЕНОВ ПО ДАННЫМ АТОМИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
- 4-Р-02** Амарантов С.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ГОМОПОЛИМЕРА МЕТОДОМ МАЛОУГЛОВОГО РЕНТГЕНОВСКОГО РАССЕЙЯНИЯ
- 4-Р-03** Андреева Н.А., Чабан В.В.
ЖИДКИЕ ДИАЛКИЛКАРБОНАТЫ ПОВЫШАЮТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРАХ
- 4-Р-04** Андреева Н.А., Чабан В.В., Белько В.О.
НАНОРАЗМЕРНЫЙ ПОЛУПРОВОДЯЩИЙ УГЛЕРОД КАК ХИМИЧЕСКИЙ ПРОДУКТ РАЗЛОЖЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО ДИЭЛЕКТРИКА В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРОБОЯ В КОНДЕНСАТОРЕ
- 4-Р-05** Белкина К.А., Буглаков А.И., Василевская В.В.
САМОСБОРКА ГРЕБНЕОБРАЗНЫХ СОПОЛИМЕРОВ С ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРИШИВКОЙ БОКОВЫХ ЦЕПЕЙ: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 4-P-06** Малых В.В., Буланов К.С., Муратов Д.В., Топчий М.А., Моронцев А.А., Большиков Б.Д., Грингольц М.Л.
ДЕПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ПОЛИБУТАДИЕНА-1,4 ПОД ДЕЙСТВИЕМ RU-КАРБЕНОВОГО КОМПЛЕКСА ГРАББСА 1-ГО ПОКОЛЕНИЯ: СТРОЕНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОМПЛЕКСА
- 4-P-07** Никитин А.Н., Внук В.В., Ипполитов Е.В., Камаев С.В., Марков М.А., Новиков М.М., Чербыло С.А.
ОСОБЕННОСТИ ТРЕХМЕРНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ В ФОТОПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ ПРИ НАЛИЧИИ НАПОЛНИТЕЛЕЙ
- 4-P-08** Полоцкий А.А., Иванова А.С.
ИЗУЧЕНИЕ АДсорбЦИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ СОПОЛИМЕРОВ С ПОМОЩЬЮ ПРИБЛИЖЕНИЯ МОРИТЫ ВЫСОКИХ ПОРЯДКОВ
- 4-P-09** Попова Т.О., Лактионов М.Ю., Жулина Е.Б., Борисов О.В.
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЫЧЬЕГО СЫВОРОТОЧНОГО АЛЬБУМИНА С ПОЛИАНИОННОЙ ИЛИ ПОЛИКАТИОННОЙ ЩЕТКОЙ: ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРИБЛИЖЕНИИ САМОСОГЛАСОВАННОГО ПОЛЯ
- 4-P-10** Рошин Д.Е., Патлажан С.А.
СМЕШЕНИЕ СОВМЕСТИМЫХ ЖИДКОСТЕЙ В МИКРОКАПЛЕ ПРИ ТЕЧЕНИИ В ПСЕВДОПЛАСТИЧНОЙ ЖИДКОСТИ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

**ФОТОИНИЦИИРУЕМАЯ И ФОТОКОНТРОЛИРУЕМАЯ
КАТИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ**Трофимук Д.В.^{1,2}, Гульник М.И.², Костюк С.В.^{1,2,3}¹*Белорусский государственный университет, г. Минск*²*Институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета, г. Минск*³*Институт регенеративной медицины Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России, ул. Трубецкая 8/2, Москва, 119991, Россия
kostjuks@bsu.by*

Катионная полимеризация является единственным методом для промышленного получения ряда (со)полимеров, таких как функционализированные полиизобутилены, эластомеры, а также углеводородные и терпеновые смолы. Как правило, синтез данных полимеров требует использования различных кислот Льюиса, что приводит к образованию большого количества кислых сточных вод в процессе выделения полимера. Ввиду этого, фотоиницируемая/фотоконтролируемая катионная полимеризация может быть хорошей альтернативой традиционной катионной полимеризации.

В данной докладе будут представлены последние достижения в области разработки эффективных каталитических систем для проведения фотоконтролируемой катионной полимеризации алкил виниловых эфиров [1]. Будет обсужден прогресс, достигнутый в дизайне новых фотокатализаторов катионной полимеризации алкил виниловых эфиров, а также возможность получения уникальных блок-сополимеров за счет последовательного использования катионного и радикального механизмов фотоиницируемой полимеризации [1]. Далее будут представлены результаты по фотоиницируемой катионной полимеризации менее активных мономеров, таких как стирол, изобутилен и β -пинен [2,3]. В заключении, будут обсуждены перспективы дальнейшего развития исследований в области фотоиницируемой/фотоконтролируемой катионной полимеризации.

Список литературы:[1] *Sifri R.J., Ma Y., Fors B.P.* Acc. Chem. Res. **55**, 1960–1971 (2022)[2] *Konya M., Uchiyama M., Satoh K., Kamigaito M.* ChemPhotoChem. **3**, 1100–1108 (2019)[3] *Hulnik M., Trofimuk D., Nikishau P.A., Kiliclar H.M., Kiskan B., Kostjuk S.V.* ACS Macro Lett. **12**, 1125–1131 (2023)**Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия», задание 2.1.01.03.

**МОЛЕКУЛЯРНОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ
РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ**

Черникова Е.В.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический
факультет, Россия, Москва
chernikova_elena@mail.ru*

В последние десятилетия активно расширяются возможности радикальной полимеризации в молекулярном дизайне полимеров за счет использования обратимых реакций деактивации цепи. Эти реакции включают обратимый обрыв, обратимый перенос атома и обратимую (вырожденную) передачу цепи. Среди известных типов радикальной полимеризации с обратимой деактивацией цепи значимое место в молекулярном дизайне макромолекул занимает радикальная полимеризация с обратимой передачей цепи (ОПЦ), протекающая по механизму присоединения–фрагментации. Для ее реализации используют дитиокарбонильные соединения общей структуры $ZC(=S)SR$, включающие дитиобензоаты ($Z = Ar$), тритиокарбонаты ($Z = SR'$), ксантаты ($Z = OR'$), дитиокарбаматы ($Z = NR'R''$) и т.д. Участвуя в последовательных актах обратимой передачи и роста цепи, они образуют макромолекулы $R-P_n-SC(=S)Z$, содержащие в своей структуре фрагменты исходных дитиокарбонильных соединений в виде α - и ω -концевых групп, что позволяет задавать функциональность концевых групп макромолекул. Молекулярно-массовые характеристики полимеров определяются выбором подходящего ОПЦ-агента (его эффективностью) и соотношением концентраций ОПЦ-агента и радикального инициатора. Распределение звеньев в сополимере контролируется не только составом мономерной смеси, но и управлением кажущихся активностей мономеров в сополимеризации, а также скоростью введения мономеров в синтез. Наряду с варьированием функциональности ОПЦ-агента это позволяет получать композиционно однородные статистические и градиентные сополимеры разного строения, блок-статистические и блок-градиентные сополимеры и т.д. ОПЦ-полимеризация позволяет получать блок-сополимеры как по-стадийно, так и *in situ*. Используя соответствующие растворители, удастся получать градиентные и блочные сополимеры, самоорганизующиеся непосредственно в ходе синтеза. Сочетая ОПЦ-процесс с полимеризацией бифункциональных мономеров, клик-химией и т.п., можно получать макромолекулы нелинейной архитектуры. Таким образом, ОПЦ-полимеризация дает широкий функционал для синтеза макромолекул разной молекулярной архитектуры, что позволяет предлагать их для использования в разных областях, где вопросы строения и стимулочувствительности макромолекул приобретают принципиальное значение.

**АЭРОГЕЛИ ИЗ НАНОРАЗМЕРНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ -
МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКИ, ЭНЕРГЕТИКИ,
МЕДИЦИНЫ И ЭКОЛОГИИ**

Щипунов Ю.А.

*Институт химии, Дальневосточное отделение, Российская академия наук,
г. Владивосток*

Первые аэрогели из наноразмерной целлюлозы или наноцеллюлозы были изготовлены в 2008 году, т. е., 15 лет назад, но они вызвали огромный интерес, исследование которых является одним из наиболее быстро развивающихся направлений. Свидетельством может служить ежегодный рост числа публикаций и патентов, составляющий ~25%.

Наноразмерная целлюлоза обладает рядом уникальных достоинств, включающих экстраординарную механическую прочность, биосовместимость, биоразлагаемость и неисчерпаемые возобновляемые ресурсы. Аэрогели выступают в виде удобной матрицы для получения разнообразных материалов. Их практически важными достоинствами являются небольшой удельный вес (0.1-0.001 г/см³), большой объем взаимосвязанных пор (до 99,5%) и площадь поверхности (100-300 см²/г). Многочисленные гидроксильные группы в макромолекуле целлюлозы и доступность всего объема аэрогелевой матрицы позволяют провести ее модификацию – функционализацию – хорошо разработанными методами химии углеводов, минерализацией, пришивкой (био)полимеров и простым их включением посредством абсорбции.

В докладе вначале рассматривается получение наноразмерной целлюлозы, что до настоящего времени все еще является нетривиальной задачей. Формирование аэрогелей при ее наличии доступно практически в любой лаборатории. Приводятся примеры ряда подходов, используемых для функционализации аэрогелевой матрицы. Они включают химическую сшивку, минерализацию методом золь-гель химии, пришивку полимеров и введение оксид графена и углеродных нанотрубок. В качестве примеров функциональных материалов рассматриваются суперэластичные, супергидрофобные, электропроводящие, фотокаталитические и водоабсорбирующие аэрогели, а также адсорбенты для металлов и красителей.

Благодарности

Часть представленных результатов получена при финансовой поддержке РФФ (проект № 22-13-00337).

НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ПОЛИИМИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Кузнецов А.А.

*Институт синтетических полимерных материалов им.Н.С. Ениколопова
Российской академии наук, г. Москва
kuznetsov@ispm.ru*

Доклад содержит краткий обзор современного состояния и тенденций развития области полиимидов (ПИ) и полиимидных материалов в мире. Термостойкие ПИ пленки, волокна, нетканые материалы, термопластичные полиимиды, термостойкая электроизоляция, полиимидные связующие для теплостойких ПКМ, и т.п. Новые разработки в области ПИ: полимерные сетки, ПИ аэрогели, ПИ, материалы для газоразделительных мембран, ПИ покрытия ПИ, прозрачные ПИ, подложки для гибкой органической электроники, и т.п.

Вторая часть доклада посвящена краткому изложению результатов исследований по синтезу ПИ, выполненных в ИСПМ РАН за последнее время¹⁻⁶. Синтез новых ПИ различной топологической и морфологической структуры: сверхразветвленных полимеров, полимерных звезд, частично кристаллических ПИ, линейных ПИ для газоразделительных мембран, новых термопластичных реакционных олигоимидов с пропаргильными группами для полимерных композитов. Безрастворный синтез полиимидов. Новый процесс термохимической имидизации полиамидокислот в растворе. Новые данные по исследованию механизма синтеза ПИ в растворе с использованием математического моделирования и т.д.

Список литературы:

- [1] Кузнецов А.А., Солдатова А.Е., Цегельская А.Ю., Семенова Г.К. Высокомолек. Соедин. Сер. С, **62(2)**, 122-144 (2020).
- [2] Kolesnikov T.I., Kuznetsov A.A., et al. Polymer, **254**, 125038 (2022).
- [3] Orlova A.M., Alentiev A.Yu., Kuznetsov A.A., et al. Polymer, **256**, 125258 (2022).
- [4] Kolesnikov T.I., Kuznetsov A.A., et al. Europ. Polym. Journal., **161**, 110865 (2021).
- [5] Soldatova A.E., Tsegelskaya A.Yu, Kuznetsov A.A. Russ. Chem. Bull., **71(4)**, 777-786 (2021).
- [6] Ustimov A.V., et al. Russ. Chem. Bull. **71(6)**, 284-1289 (2022).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования РФ номер темы FFSM-2021-0006. Часть работы по синтезу олигоимидов с пропаргильными группами поддержана грантом РНФ 22-23-01173.

ПОЛИМЕРНЫЕ ЩЕТКИ КАК СТРУКТУРНЫЙ МОТИВ БИОМИМЕТИЧЕСКИХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Борисов О.В.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
oleg.vlad.borisov@gmail.com*

Полимерные щетки состоят из макромолекул, «привитых» концевыми сегментами к границе раздела (микро)фаз или поверхности наноразмерных частиц так, что расстояние между соседними цепями, образующими щетку, существенно меньше характерного размера индивидуальной макромолекулы в соответствующей фазе (растворе или расплаве). Гребнеобразно разветвленные макромолекулы с длинными и густо привитыми боковыми цепями называют молекулярными щетками.

Полимерные, в том числе, полиэлектролитные щетки, сходны по своему строению и свойствам с надмолекулярными структурами, широко распространенными в живой природе, как то, перичеллюлярные слои заряженных биополиэлектролитов (гликозаминогликанов), протеогликанов, являющиеся (в комплексе с гиалуроновой кислотой) составными элементами хрящевой ткани, нейрофиламенты в аксонах нейронов, нуклеопоровые комплексы, и т.д. Всестороннее изучение хорошо определенных модельных систем может дать важную информацию о физических процессах, лежащих в основе внутрисуставной смазки, молекулярного узнавания и адгезии клеток, избирательного транспорта молекул через биологические мембраны, и т. п., происходящих в живой природе. В конечном счете, это понимание может иметь важное значение для применения принципов биомиметизма при разработке новых высокоэффективных функциональных полимерных материалов.

В докладе отражены ключевые направления и результаты теоретического изучения и компьютерного моделирования (I) молекулярно-щеточных гелей, принципов архитектурного кодирования их механических свойств; (II) структурных и трибологических свойств поверхностей, модифицированных привитыми молекулярными щетками; (III) полиэлектролитных щеток и их взаимодействия с белковоподобными нанокolloидами; (IV) селективного транспорта нанокolloидных частиц через полимер-модифицированные мезопористые мембраны.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, грант № 23-13-00174.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ГИДРОДИНАМИКА И ОПТИКА ПОЛИМЕРОВ КАК ОСНОВА КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ КОНФОРМАЦИИ И СВОЙСТВ МАКРОМОЛЕКУЛ И НАНОЧАСТИЦ В РАЗБАВЛЕННЫХ РАСТВОРАХ

Цветков Н.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет,
n.tsvetkov@spbu.ru*

Научная школа по изучению свойств макромолекул в растворах под руководством член-корреспондента РАН В.Н. Цветкова ведет свое начало с Великой Отечественной войны, когда в связи с требованиями промышленности синтетических каучуков, В.Н. Цветков начинает работы в области полимеров. В г. Елабуга (250 км восточнее Казани, куда были эвакуированы исследовательские институты естественно-научного профиля Ленинградского Университета) в 1941 году он организовал лабораторию Физики полимеров, в составе Елабужского «Филиала Ленинградского Университета». В ней проводились исследования полимеров (в основном синтетических каучуков) в растворах методами двойного лучепреломления в потоке и в магнитном поле, вискозиметрии, а также методом фотоупругости в массе. Эти исследования проводились в контакте с Ленинградским ВНИИ синтетических каучуков, который во время войны находился в Казани. Уже в первых работах, опубликованных в 1942-1944 г.г. был впервые обнаружен и правильно интерпретирован «эффект формы» в растворах полимеров. В 1945 году В.Н. Цветков был избран заведующим кафедрой общей физики I с присвоением ей права обучения и выпуска студентов по специализации «физика полимеров». Важнейшее значение для развития научной школы имел тот факт, что с 1949 года В.Н. Цветков, по совместительству, стал работать в Институте Высокмолекулярных Соединений Академии Наук СССР (позднее ИВС РАН), где он организовал новую лабораторию по физике полимеров (№6). Научные кадры этой лаборатории пополнялись выпускниками университета по специализации «физика полимеров», что способствовало тесному научному сотрудничеству двух коллективов. В 1958 году на физическом факультете ЛГУ организована кафедра физики полимеров, которой заведовал (с 1958 г. по 1997 г.) В.Н. Цветков. В работе кафедры всегда значительное место занимали не только экспериментальные и теоретические исследования полимеров, но и разработка новых чувствительных методов изучения гидродинамических, оптических и электрооптических свойств растворов полимеров и жидких кристаллов. Это в полной мере относится и к кафедре молекулярной биофизики и физики полимеров, которая была образована в 2015 году путем объединения кафедр физики полимеров и молекулярной биофизики под руководством Н.В. Цветкова. В докладе проиллюстрированы возможности методов молекулярной гидродинамики и оптики для изучения характеристик линейных, гребнеобразных и разветвленных полимеров, полимерных комплексов, а также наночастиц, стабилизированных различными полимерными носителями в растворах, на примере наиболее интересных современных результатов.

PL-07

**БИОДЕГРАДИРУЕМЫЕ НАНОКОНСТРУКЦИИ ДЛЯ
ФАРМАКОЛОГИИ: СОЗДАНИЕ БИОМИМЕТИЧЕСКИХ
ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ И
БЛОКИРОВАНИЯ ПАТОГЕНОВ**

Тенникова Т.Б.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии
г. Санкт-Петербург
t.tennikova@spbu.ru*

В течение последних двух десятилетий наблюдается огромный всплеск интереса к разработке полимерных микро- и наночастиц как перспективных систем для адресной доставки лекарственных веществ. Такие системы способны увеличивать биодоступность, повышать растворимость и проницаемость многих, в частности, гидрофобных, низкомолекулярных лекарственных препаратов и генетического материала. Контролируемая возможность высвобождения фармакологически активных агентов в органах или тканях, в которых необходимо проводить терапию, при оптимальных скоростях и концентрациях также вызывает интерес к таким разработкам во многих областях медицины. Особое внимание предлагается уделить системам, предназначенным для блокирования патогенов (вирусов) при их высокой концентрации в организме.

В докладе будет представлен обзор на заданную тему, основанный на собственных научных результатах, включающий создание различных морфологических типов полимерных контейнеров, их поверхностную модификацию, а также приведены примеры практического применения данных систем.

ПРИГЛАШЁННЫЕ ДОКЛАДЫ

**К ВОПРОСУ О ТОПОЛОГИИ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ
ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ ЧАСТИЧНО
КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ПОЛИМЕР – РАСТВОРИТЕЛЬ – ОСАДИТЕЛЬ**

Почивалов К.В.^{1,2}, Баско А.В.², Ильясова А.Н.², Лебедева Т.Н.², Бронников С.В.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург*

²*Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, г. Иваново
pkv@isc-ras.ru*

Выполненный анализ литературы позволил заключить, что опубликованные к настоящему времени экспериментальные диаграммы состояния трехкомпонентных систем частично кристаллический (ЧК) полимер – растворитель – нерастворитель являются неполными и имеют ошибочную топологию. Поэтому они не дают термодинамически корректной информации как о фазовом равновесии в трехкомпонентных системах, так и о состоянии этих систем в различных областях концентрационного поля диаграммы. Такая ситуация сложилась по двум причинам: во-первых, при исследовании таких систем не учитывалась способность ЧК полимеров к набуханию в низкомолекулярных жидкостях и во-вторых, из-за отсутствия экспериментальной методики, позволяющей построить полную диаграмму состояния, охватывающую всю область составов компонентов.

В данной работе преследовались следующие цели:

- разработать методику, обеспечивающую построение квазиравновесных диаграмм состояния любых трехкомпонентных систем ЧК полимер – растворитель – нерастворитель;
- впервые построить полную диаграмму состояния широко используемой для приготовления мембран смеси поливинилиденфторида (ПВДФ) с диметилацетамидом (ДМАА) и водой;
- сформулировать с использованием этой диаграммы представления о механизме структурообразования мембран, получаемых методом осаждения путем погружения из смеси ПВДФ с ДМАА различного состава.

В докладе будут обсуждены следующие аспекты:

- термодинамический анализ впервые построенных в координатах температура – состав диаграмм состояния псевдобинарных смесей ПВДФ с ДМАА и ПВДФ с соразстворителями, состоящими из различных количеств ДМАА и воды;
- методика построения диаграмм состояния трехкомпонентной системы ПВДФ – ДМАА – вода при фиксированных температурах с помощью указанных выше диаграмм состояния;
- предложенный нами на основе анализа топологии треугольных диаграмм механизм структурообразования в гомогенных смесях ПВДФ с ДМАА различного состава при их погружении в воду и экспериментальное подтверждение его корректности.

Отдельный раздел доклада будет посвящен впервые обнаруженным по данным ДСК и РСА в смесях ПВДФ с ДМАА полимерным сокристаллам.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РНФ, проект №23-29-00220.

ОСОБЕННОСТИ ТРЕХМЕРНОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ОПУХОЛЕВЫХ И НОРМАЛЬНЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА В ОБЪЕМЕ СУПЕРМАКРОПОРИСТЫХ КРИОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И КАРБОКСИМЕТИЛХИТОЗАНА

Привар Ю.О.¹, Борода А.В.², Майорова М.А.², Скатова А.В.¹, Братская С.Ю.¹

¹*Институт химии Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток*

²*"Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского"*

Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток

s.bratskaya@gmail.com

Разработаны способы получения супермакропористых биорезорбируемых материалов на основе хитозана и карбоксиметилхитозана (КМХ) для трехмерного культивирования опухолевых и нормальных клеток человека и тестирования *in vitro* эффективности противоопухолевых препаратов и комбинированных методов лечения опухолевых заболеваний.

Проанализировано влияние условий получения на состав (степень модификации сшивающим агентом), морфологию (размер пор и толщина полимерных стенок), степень набухания, реологические и фильтрующие характеристики криогелей. Исследована динамика формирования объёмных структур клеточными линиями человека: НСТ116 (рак прямой кишки), HeLa (рак шейки матки), SkBr3 (рак молочной железы), HEPG2 (рак печени), а также HEK293T (клетки эмбриональной почки человека) в зависимости от параметров искусственного внеклеточного матрикса на основе хитозана и КМХ при 3D-культивировании в стационарных и проточных режимах. Трёхмерные клеточные структуры сохраняли жизнеспособность в криогелях в проточных условиях на протяжении по меньшей мере трёх недель эксперимента.

Установлено, что матриксы на основе КМХ и хитозана, полученные с использованием одного и того же сшивающего реагента и одинаковых условий сшивки, вызывают различную реакцию опухолевых клеток и приводят к формированию клеточных структур с отличающейся морфологией [1, 2]. В криогелях хитозана отчетливо прослеживалась тенденция к прочному закреплению и «распластыванию» скоплений клеток по внутренней поверхности пор с последующим формированием нескольких клеточных слоёв вдоль стенок ячеек. В криогелях КМХ эти же культуры клеток образовывали плотные сфероиды с ровными границами из-за низкой адгезии клеток к внеклеточному матриксу и преобладанию межклеточных контактов над контактами клетка-поверхность.

Список литературы:

[1] Boroda A., Privar Y., Maiorova M., Beleneva I., Eliseikina M., Bratskaya S. *Int. J. Mol. Sci.* **23**, (2022).

[2] Boroda A., Privar Y., Maiorova M., Beleneva I., Eliseikina M., Bratskaya S.. *Biomimetics* **7**, 56 (2022).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-13-00399).

ОЦЕНКА ТОЛЩИНЫ МЕЖФАЗНОГО СЛОЯ В РАМКАХ РАВНОВЕСНОЙ ТЕОРИИ РАСТВОРОВ ПОЛИМЕРОВ

Чалых А.Е., Герасимов В.К.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской
академии наук, г. Москва
chalykh@mail.ru*

Традиционно толщину межфазной границы оценивают по уравнениям теории Гельфанда, Тагами и Запса. Мы предлагаем иной подход к оценке толщины межфазной границы, основанный на теории полимерных растворов Флори-Хаггинса. С нашей точки зрения по обе стороны от межфазной границы существуют равновесные растворы компонентов с концентрациями, соответствующими бинадальной кривой. Межфазная граница, напротив, находится в неравновесном стационарном состоянии. Схематически это показано на рис. Избыточная энергия (залито серым на рис.) идеологически полностью соответствует межфазной энергии, однако имеет размерность Дж/м³, а не Дж/м². Связь между избыточной энергией ($\Delta G_{interphase}$) и межфазной энергией (γ_{12}), по нашему мнению, определяется выражением $L = \frac{\gamma_{12}}{\Delta G_{interphase}}$, где L – толщина

межфазного слоя. Межфазную энергию исследуемой системы можно определить экспериментально (реже) или расчетно (значительно чаще) по любой известной теории. Распределение концентраций внутри межфазного слоя имеет диффузный характер, однако, его конкретный вид не определен. Замена диффузного распределения концентраций на линейное хотя и вносит ошибку в конечный результат, но позволяет провести интегрирование кривой 2 на рис. в общем виде. Интегрирование кривой 1 рис. тривиально. Их разность дает избыточную энергию, необходимую для оценки толщины межфазной границы. После несложных преобразований получаем выражение

$$\frac{\Delta G_{m,interphase}}{RT} = \frac{\varphi_2' \varphi_2'' \ln \left(\frac{\varphi_2''}{\varphi_2'} \right)}{2r_2} - \frac{\varphi_1' \varphi_1'' \ln \left(\frac{\varphi_1''}{\varphi_1'} \right)}{2r_1} - \frac{(\varphi_1')^2 - (\varphi_1'')^2}{4r_1} + \frac{(\varphi_2')^2 - (\varphi_2'')^2}{4r_2} + \chi \frac{(\varphi_2'' - \varphi_2')^2}{6}$$

В качестве примера оценки толщины межфазного слоя воспользуемся экспериментальными данными по межфазной энергии ($\gamma_{12} = 1,7$ дин/см) и толщине межфазного слоя ($L = 160$ Å) системы полистирол – полиметилметакрилат при 140 °С без указаний на ММ компонентов, полученные С. Ву [1].

Бинадальные кривые для этой системы были получены в работе [2]. Использование предложенной методики дает следующие значения для толщин межфазной границы: 11,1 нм для системы ПС (33 кДа) – ПММА (800 Да) и 30,2 нм для системы ПС (15 кДа) – ПММА (800 Да). Совпадение толщины межфазной границы, определенное С. Ву, и рассчитанными в этой работе, следует считать полным.

Список литературы:

[1] Ву С. В кн. Полимерные смеси, т.1 Пол Д., Ньюмен С. ред. М.: Мир. 1981. С. 282. [2] Чалых А.Е. Диаграммы фазовых состояний полимерных систем. М. 1995. 76 с. (Препринт ИФХ РАН).

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ПОЛИМЕРОВ В РЕКОНСТРУКТИВНОЙ
ХИРУРГИИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ**

Хаширова С.Ю.

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,
г. Нальчик
new_kompozit@mail.ru*

Развитие медицины в последние годы во многом связано с внедрением полимерных материалов и передовых технологий. Дальнейший успех полимерного, аллопластического направления в хирургии связан с направленной модификацией полимерных материалов, придании им широкого спектра свойств, необходимых современной хирургии и увеличивающихся возможности и безопасность их применения в клинике. В докладе рассматриваются проблемы применения синтетических полимеров в качестве имплантатов. Особое внимание уделено суперконструкционным полимерам и композитам на их основе, которые в сочетании с 3D и 4D печатью значительно расширяют возможности для получения персонализированных имплантатов [1]. Освещены результаты разработки суперконструкционных полимеров медицинского назначения в Центре прогрессивных материалов и аддитивных технологий КБГУ. Приведены новые подходы к модификации полимеров для усиления их остеоинтеграции, регулированию механических свойств и надмолекулярной структуры для получения качественных и безопасных изделий, близких по свойствам к костной ткани человека. Несмотря на большой накопленный материал о применении различных полимерных материалов в качестве имплантатов как в клинике, так и в эксперименте, в подавляющем большинстве случаев полимер не охарактеризован с химической и физико-химической сторон, часто назван лишь класс соединения. Например, дается информация о применении полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) в какой-то хирургической ситуации. При этом существует огромное количество марок ПЭЭК и просто название полимера не дают специалистам в области высокомолекулярных соединений представлений о том, каким должен быть полимер, пригодный для имплантирования. Кроме химической структуры, встает вопрос о медицинской чистоте, биосовместимости, обеспеченной химическим строением, молекулярной массой и надмолекулярной организацией полимера, а не его формой.

Таким образом, к решению проблемы применения полимеров в медицине следует подходить с двух сторон: с медико-биологической и физико-химической. Эти две стороны должны гармонично сочетаться друг с другом. От того, насколько уже сегодня усилия медиков и химиков будут подчинены решению общих задач, зависит прогресс и медицины, и химии медицинских полимеров.

Список литературы:

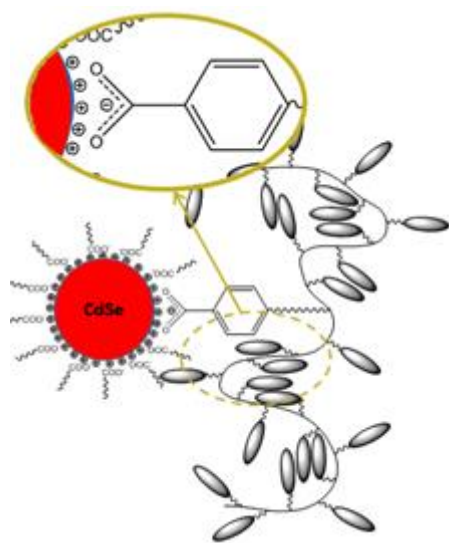
[1] *Slonov A.L., Khashirov A.A., Zhansitov A.A., Rzhetskaya E.V., Khashirova S.Yu.* The influence of the 3D-printing technology on the physical and mechanical properties of polyphenylenesulfone. *Rapid prototyping journal.* 24 (7). 1124 (2018).

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ И НАНОЧАСТИЦ: СОСТАВ, СТАБИЛЬНОСТЬ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

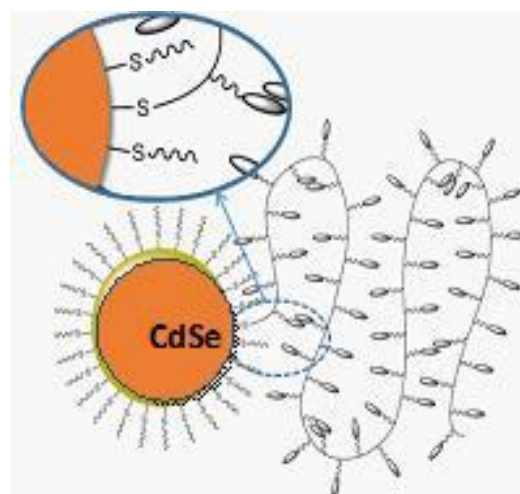
Тальрозе Р.В.

*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева
Российской академии наук
rtalroze@ips.ac.ru*

Одно из важных направлений современной науки о полимерах связано с разработкой композитов, в которых наночастицы (НЧ) помещены в полимерные матрицы. В докладе обсуждаются основные закономерности формирования композитов полимер-НЧ, обеспечивающие структурную стабильность и уникальные свойства, обусловленные взаимодействием различных компонентов. Рассмотрены подходы к встраиванию НЧ в жидкие кристаллы и ЖК полимерные матрицы. В то же время демонстрируется возможность связывания квантовых точек (КТ) с полимерными макромолекулами.



Ионное связывание полимерных лигандов с поверхностью квантовой точки



Присоединение полимерного лиганда за счет связи метал-S

Рассмотрены синтезированные нанокомпозиты с участием КТ типа ядро и ядро-оболочка и наночастиц золота, а также определены условия синтеза этих композитов с большим количеством НЧ и КТ. С помощью комплекса современных физико-химических методов изучены структура и оптические свойства композитов как в растворах, так и в твердом состоянии. Показаны первые этапы процесса взаимодействия полимера и КТ с помощью динамического светорассеяния. Проанализирована структура композитов полимер-НЧ и разработаны модели, зависящие от структуры НЧ и молекулярной массы полимера.

СЕКЦИЯ 1
СИНТЕЗ И МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ

УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

КОНТРОЛИРУЕМАЯ РАДИКАЛЬНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ АКРИЛОНИТРИЛА ПО МЕХАНИЗМУ AGET ATRP

Гришин И.Д., Пронина Ю.С., Зуева Е.И., Гуляева О.С.

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород
grishin_i@ichem.unn.ru*

Контролируемая радикальная полимеризация с переносом атома (Схема 1) является эффективным способом получения полимеров с заданными молекулярно-массовыми характеристиками, востребованными в высокотехнологичных отраслях промышленности. Ее существенным недостатком является низкая скорость процесса, затрудняющая получение высокомолекулярных образцов. В данной работе предложены новые каталитические системы на основе комплексов меди, позволяющие существенно увеличить скорость контролируемой радикальной полимеризации акрилонитрила и добиться получения высокомолекулярных образцов, что представляет интерес для их широкого практического применения.

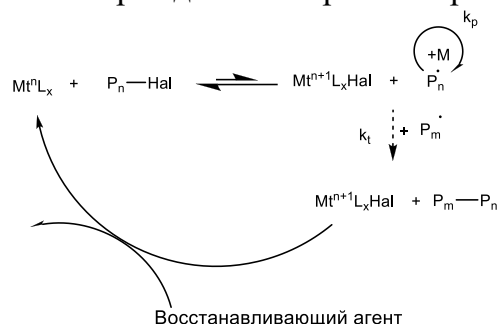


Схема 1. Полимеризация по механизму AGET ATRP

Полимеризацию акрилонитрила проводили в среде ДМСО с использованием в качестве катализаторов комплексов бромиды меди (II) с полиидентантными азотсодержащими лигандами (TPMA, Me₆TREN, PMDETA). Установлено, что в качестве восстанавливающих агентов, регенерирующих катализатор, могут быть использованы соли гидроксикислот: тартрат, лактат, гликолят натрия. Восстанавливающая способность указанных соединений была подтверждена методом электронной спектроскопии.

Показано, что скорость контролируемой радикальной полимеризации акрилонитрила может быть увеличена за счет одновременного введения в систему двух медьсодержащих катализаторов. При этом более активный катализатор отвечает за генерацию макрорадикалов, реиницирующего процесс, а менее активный – за обратимое ингибирование, определяющее контролируемый характер процесса.

Установлено, что постепенное дозирование восстанавливающего агента в систему позволяет подавить эффект затухания полимеризации на высоких степенях превращения, приводя к получению высокомолекулярных полимеров.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 23-23-00087).

СВЧ МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Калганова С.Г., Кадыкова Ю.А.

АО "Научно-производственное предприятие "Контакт",
научно-исследовательский центр, г.Саратов
nauka@kontakt-saratov.ru

В настоящее время для модификации полимерных материалов перспективным является их обработка в СВЧ электромагнитном поле, позволяющая обеспечить равномерное распределение температурного поля по всему объему материала. Использование СВЧ установок конвейерного типа на базе камер с бегущей волной (рис.1) позволяет осуществлять обработку материала в непрерывном потоке при варьировании мощности СВЧ излучения или скорости движения конвейерной ленты.

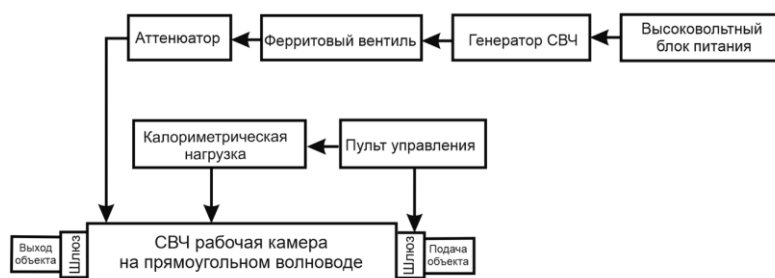


Рис. 1 - Автоматизированная СВЧ установка для научных исследований.

Преимущество СВЧ установки - возможность установить, в процессе выполнения экспериментальных исследований, величину генерируемой мощности и прошедшей, непоглощённой объектом мощности, а также рассчитать величину удельной поглощенной полимером мощности и напряженности электрического поля электромагнитной волны, которая вызывает модифицирующий эффект.

Доказана эффективность СВЧ модификации для эпоксидной и полиэфирной смолы, полисульфона, поликапроамида, полиолефинов, полимерных клеевых материалов, наполненных олигомерных систем, резинотехнических и других материалов [1,2].

Равномерная по объему СВЧ обработка полимерных материалов и изделий позволяет значительно ускорить процесс модификации по сравнению с другими методами обработки, при этом повышается качество готовых изделий, уменьшаются термомеханические эффекты, габарит производственной установки, улучшаются экономические показатели процесса.

Список литературы:

- [1] *Калганова С.Г.* Электротехнология нетепловой модификации полимерных материалов в СВЧ электромагнитном поле: специальность 05.09.10 «Электротехнология»: дис. ... д-ра техн. наук / Калганова Светлана Геннадьевна. – Саратов, 2009. – 356 с.
- [2] *Васинкина Е.Ю.* СВЧ модификация эпоксидного базальтонаполненного олигомера для улучшения функциональных свойств композита на его основе: специальность 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов: дис. кандидата техн. наук / Васинкина Екатерина Юрьевна. – Саратов, 2023. – 154 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИОННЫХ МЕТОДОВ 3D-ПЕЧАТИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОСТОЙКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Бурдуковский В.Ф.¹, Холхоев Б.Ч.¹, Бардакова К.Н.², Матвеева З.А.¹,
Коркунова О.С.¹, Никишина А.Н.¹, Тимашев П.С.²

¹*Байкальский институт природопользования СО РАН, г. Улан-Удэ*

²*Первый Московский государственный медицинский университет*

им. И.М. Сеченова, г. Москва

burdvit@mail.ru

Одними из наиболее доступных методов 3D-печати являются методы фотополимеризации в ванне, основанные на направленном, послойном отверждении жидкой фотополимерной композиции (ФПК) в соответствии с компьютерной моделью. В результате могут формироваться трехмерные изделия сложной геометрической формы с заданной архитектурой и разрешением от десятков микрон. Для этого метода разработано большое количество коммерческих ФПК, в основном использующих (мет)акрилатные алифатические производные. Изделия, сформированные на основе таких композиций, не могут применяться в экстремальных условиях эксплуатации (например, при действии агрессивных сред, при повышенных температурах и т.п.), что существенно ограничивает применение этих методов. В докладе представлены результаты работ по созданию ФПК, которые в процессе отверждения под действием УФ-излучения коммерческих 3D-принтеров (SLA, DLP) образуют трехмерные сетчатые структуры с повышенной термо-, тепло-, износо-, химической, радиационной стойкостью, а некоторые из них способные обладать эффектом памяти формы. Для таких ФПК разработаны кросс-линкеры - ароматические полиамиды и полибензимидазолы с привитыми аллильными группами, а также ароматические олигомерные амиды и имиды различного строения с концевыми реакционноспособными (мет)акриламидными группами. Впервые для получения ФПК использовалась тиол-еновая клик-реакция аллилированных полиарилатов, полиамидов, полибензимидазолов с различными ди- и тетрадиолами, что позволило при использовании малых мощностей излучения быстро получать изделия с низкой степенью усадки. Изделия, полученные на основе разработанных ФПК, по комплексу эксплуатационных свойств практически не отличаются от изделий, изготовленных традиционными методами (литьем, прессованием и др.). Показано, что добавление в разработанные ФПК небольшого количества термостойкого полимера (полиамида, полибензимидазола) приводит к существенному улучшению эксплуатационных характеристик. Очевидно, это связано с образованием полу-ВПС в процессе отверждения реакционноспособных компонентов ФПК. Таким образом, разработанные ФПК представляли собой четырехкомпонентную систему, состоящую из матричного термостойкого полимера, кросс-линкера, активного растворителя - N,N-диметилакриламида и фотоинициатора (Irgacure 369 или 819).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (№ проекта 22-23-00918).

ВЫСОКОТЕРМОСТОЙКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ НАНО- И СУБНАНО-КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ СЕТОК: СТРУКТУРА И СВОЙСТВА

Берштейн В.А., Якушев П.Н.

*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
vbersht.polmater@mail.ioffe.ru*

С развитием техники возрастают требования к легким диэлектрическим материалам для работы при 300-400°C (кратковременно – при более высоких температурах) в аэрокосмической области, в микроэлектронике, в высокотемпературных зонах конструкций и приборов. Особое место в этом аспекте занимают нанокomпозиты на основе гетероциклических аморфных матриц, синтезированных из нитрильных мономеров - эфирцианатных смол (СЕР) и фталонитрилов (PhN). В 2012-2021 гг. авторы опубликовали 15 статей, посвященных исследованию нано- структуры и свойств СЕР и PhN нанокomпозитов, содержащих от 0.01 до 5-10 вес.% органически модифицированных кремнекислородных наночастиц POSS, силикатных нанослоев монтмориллонита (MMT) и единиц кремнезема SiO₂. Использовались методы TEM, far-IRS, EDXS, DMA, DSC, TGA, CRS [1] и др. Полученные данные в большой мере определили содержание монографии [2]. К наиболее значимым результатам этих работ следует отнести следующее:

1. Достигнут максимальный эффект при введении в материалы всего 0.02–0.1 вес.% неорганических частиц. Установлена природа эффекта: подавление динамики благодаря квазирегулярному распределению частиц в аморфной матрице.
2. Обнаружена возможность “встраивания” в матрицу узлов SiO₂ субнанометрического размера. Введен в литературу термин “субнанокomпозиты” и показано превосходство их свойств относительно нанокomпозитов с SiO₂ нанокластерами.
3. Обнаружены корреляции между наноструктурой, динамикой матрицы и свойствами исследованных нано- и субнанокomпозитов.
4. Показаны подавление релаксационной динамики, включая переход стеклования, и достижение постоянства модуля упругости нанокomпозитов при 20-600°C.
5. Достигнута уникально высокая для полимерных композитов T_g = 570°C.
6. Показана возможность использования PhN нанокomпозитов длительно при 400°C и кратковременно до 500°C на воздухе и до 900°C в инертной атмосфере. Выявлена природа сверхтермостойкости PhN нанокomпозитов.

Список литературы:

[1] *Bershtein V. and Yakushev P.* Adv. Polym. Sci. **230**, 73 (2010). [2] *Bershtein V. and Yakushev P.* Springer Book Series in Materials Science, volume 334, Springer, Cham, Switzerland (2023).

Благодарности

Рассматриваемые композиты были синтезированы и предоставлены авторам для физических исследований химиками Института Макромолекулярной химии АН Украины. Выражаем глубокую благодарность химикам-соавторам наших публикаций 2012-2021гг. члену-корреспонденту АН А.М. Файнлейбу с сотрудниками.

ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ В ИССЛЕДОВАНИИ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ АКРИЛАТОВ

Никитин А.Н.

*Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН – филиал ФГУ
«ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН», г. Шатура
anatoly_nikitin@mail.ru*

Интерес к кинетике (со)полимеризации акрилатов в массе и в растворах все еще остается высоким не только из-за широкого практического применения этих мономеров, но также из-за нестандартного протекания кинетических процессов, как при непрерывном, так и при импульсно-периодическом иницировании. Эта нестандартность, отмеченная уже в первых работах по исследованию полимеризации акрилатов в начале 70-х годов прошлого столетия, долгое время не имела общепринятого объяснения.

Начало прояснению особенностей (со)полимеризации акрилатов положило появление в середине 90-х годов экспериментальных свидетельств того, что для этой полимеризации имеет место внутримолекулярная передача цепи на полимер (ВМПЦП). Исследования показали, что эта и связанные с ней реакции оказались причиной необычной кинетики радикальной (со)полимеризации акрилатов. Появились новые аналитические выражения и численные подходы для исследования этой кинетики. Открыты и исследованы новые реакции, протекающие при высокотемпературной полимеризации акрилатов (реакции распада третичных радикалов и роста макромономеров, которые образуются при этом распаде). Разработаны и экспериментально реализованы новые методы определения кинетических параметров для полимеризации акрилатов.

Все еще остаются нерешенными ряд проблем кинетики полимеризации акрилатов. Следует выделить проблему расхождения параметров Аррениуса, полученных для константы ВМПЦП при низких и средних температурах, от значений, определенных при высоких температурах на примере данных по полимеризации н-бутилакрилата; эта проблема выделена на уровне ИЮПАК [1]. Является ли характерной для полимеризации акрилатов заметная зависимость константы роста длинных радикалов от длины цепи, обнаруженная для полимеризации метилакрилата при температуре 25 °С [2]? Имеются также проблемы, связанные с зависимостью ВМПЦП от способа иницирования; с отсутствием методов, позволяющих определить надежно константы межмолекулярной передачи цепи, бирадикального обрыва третичных радикалов и роста макромономеров; с особенностями кинетики полимеризации акрилатов при малых добавках других акрилатов и др.

Список литературы:

[1] <https://iupac.org/body/428/>, Meeting Minutes, Cairns, Australia, 2 July 2018

[2] Nikitin A. N., Dušička E., Lacík I., Hutchinson R. A. Polym. Chem. **13**, 3052 (2022).

Благодарности

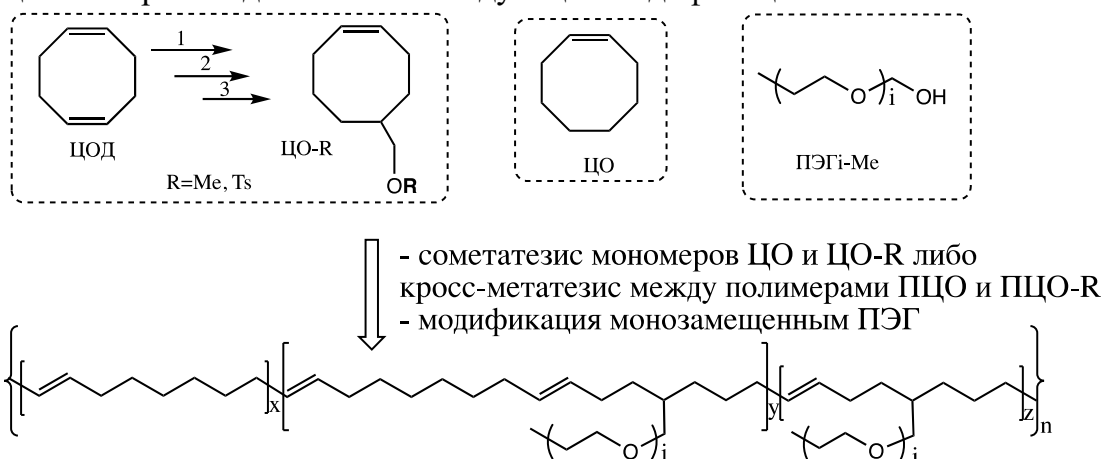
Работа выполнена в рамках Государственного задания ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

СИНТЕЗ ПРИВИТЫХ ГОМО- И СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ЦИКЛООКТЕНА И МОНОЗАМЕЩЕННЫХ ЭТИЛЕНГЛИКОЛЕЙ

Денисова Ю.И., Аджиева О.А., Роевко А.В., Кудрявцев Я.В.

Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, г. Москва
denisova@ips.ac.ru

Амфифильные гомо- и сополимеры привлекают внимание исследователей благодаря сочетанию гидрофильных и гидрофобных сегментов. Обладая поверхностной активностью и способностью к микроструктурированию, используются для получения эмульгаторов, пенообразователей, загустителей, покрытий и доставки лекарств [1-3]. Большой интерес представляют амфифильные блок-сополимеры на основе доступных полимеров, таких как полиэтиленгликоль (ПЭГ) и полиэтилен (ПЭ). Поскольку чисто полимеризационный синтез таких сополимеров затруднен, мы предлагаем использовать циклооктен и его замещенные производные с их последующей модификацией:



В настоящей работе предложен простой и эффективный подход к получению широкого ряда функциональных гомо- и сополимеров с различным строением цепи на основе циклооктена и монозамещенных полиэтиленгликолей.

Разработана методика синтеза новых мономеров на основе 5-гидроксиметилциклооктена с легкоуходящей защитной группой, подобраны условия их полимеризации. Получен ряд блок-сополимеров циклооктена и 5-гидроксиметилтозилциклооктена с различным строением цепи. Полученные гомо- и сополимеры функционализированы по разработанной методике путем прививки монозамещенных ПЭГ. Строение и основные характеристики всех синтезированных полимеров охарактеризованы современными физико-химическими методами: ^1H и ^{13}C ЯМР, ГПХ, ДСК, метод сидячей капли.

Список литературы:

[1] Y. Yang, D. Shi, X. Wang, H. Shi, T. Jiang, Y. Yang, S. Luan, J. Yin, R.K.Y. Li. *Materials Science and Engineering C* **45**, 539 (2014). [2] S. Lowe, N.M. O'Brien-Simpson, L.A. Connal. *Polym. Chem.* (6), 198 (2015). [3] S. Förster, M. Antonietti. *Adv. Mater.* **10** (3), 195 (1998).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 22-23-00640).

РАЗРАБОТКА МАГНИТОАКТИВНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИБЛОЧНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ И НАНОЧАСТИЦ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА

Бугров А.Н.^{1,2}, Васильев Б.В.^{1,2}, Смыслов Р.Ю.¹, Попова Е.Н.¹, Ваганов Г.В.¹,
Смирнова В.Е.¹, Рунов В.В.³, Кудряш М.Н.²

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук*

²*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

³*Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова*

Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

Магнитоактивные полимерные материалы (МПМ) представляют собой композиты на основе эластомеров, модифицированных микро, либо наноразмерными магнитными частицами. МПМ относятся к классу интеллектуальных материалов, вязкоупругие свойства которых могут регулироваться с помощью внешнего магнитного поля. Данная работа посвящена разработке полимерных материалов с магнитоиндуцируемым эффектом памяти формы (ЭПФ). В качестве полимерной матрицы использовались мультиблочные полуретаны (ПУ), образованные жесткими ароматическими и гибкими алифатическими молекулярными сегментами различного химического строения. Для формирования жестких блоков использовались комбинации 2,4-толуилنديизоцианата и 4,4'-метиленидифенилендиизоцианата с низкомолекулярными диаминами, а также диангидридами. В качестве гибких сегментов были выбраны поликапролактон диол, а также политетрагидрофуран. В результате циклических термомеханических испытаний мультиблочных ПУ в динамическом и статическом режимах были отобраны составы с наиболее высокими коэффициентами фиксации и восстановления формы в качестве матриц для МПМ. Для нагрева ПУ с ЭПФ в условиях переменного магнитного поля были синтезированы наночастицы феррита кобальта из неорганических солей и прекурсоров органической природы. А термолиз нитрата железа в растворе мультиблок-сополимера позволил непосредственно в матрице (in-situ) сформировать частицы маггемита. Полученные магнитные наполнители представляли собой суперпарамагнетики и эффективно нагревались в переменном магнитном поле (168 кГц, 180 В, 7.5 А). Предельные температуры нагрева порошков наночастиц определялись их намагниченностью насыщения. Для равномерного распределения и предотвращения процессов агломерации магнитных наночастиц в ПУ их поверхность предварительно функционализировалась аминогруппами с помощью 3-аминопропилтриэтоксисилана. Далее поверхностно-модифицированные магнитные нанонаполнители в виде дисперсии в амидном растворителе добавлялись в расплав макродиизоцианата наряду с удлинителем цепи. Равномерность распределения наночастиц в объеме магнитного эластомера исследовалась с помощью СЭМ и АСМ. Образующаяся в мультиблок-сополимере магнитная подрешетка исследовалась с помощью метода малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов. Влияние наполнителя на релаксационные и фазовые переходы в гибких блоках сегментных ПУ устанавливалось с помощью методов ДСК и ДМА. Изменение термических и механических свойств композитов определялось с помощью ТГА и в ходе испытаний по одноосному механическому растяжению.

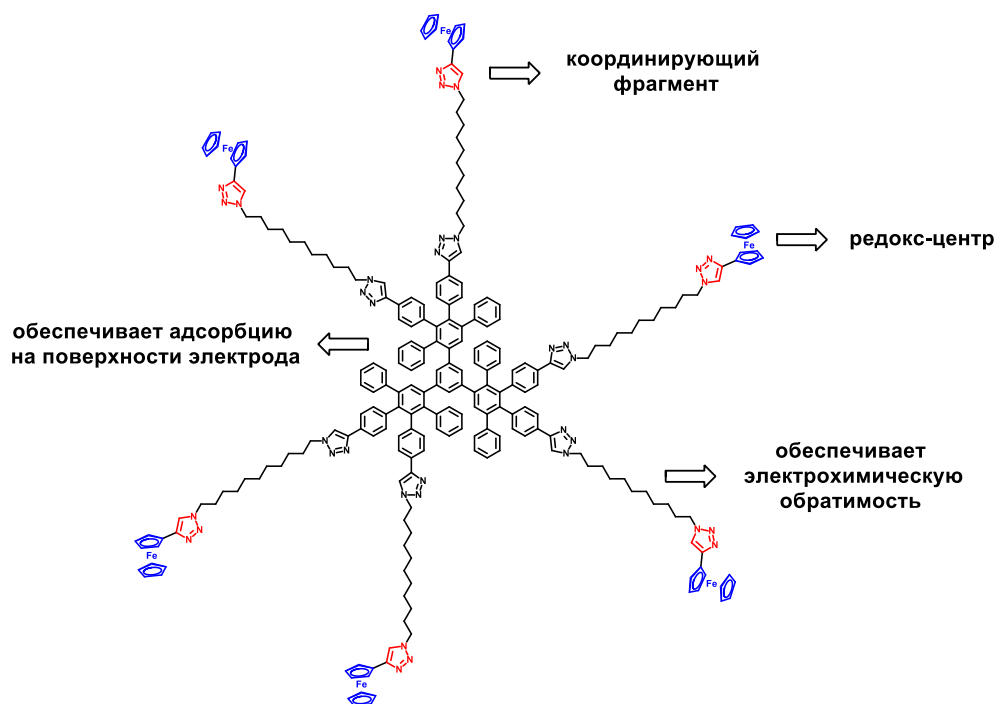
СИНТЕЗ РЕДОКС-АКТИВНЫХ ФЕРРОЦЕНСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИФЕНИЛЕНОВЫХ ДЕНДРИМЕРОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СЕНСОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Чамкина Е.С.¹, Чамкин А.А.¹, Сухова Е.А.^{1,2}, Шифрина З.Б.¹

¹Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,
г. Москва

²Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), г. Долгопрудный
elena.serkova@ineos.ac.ru

Ферроценсодержащие дендримеры представляют собой удобную окислительно-восстановительную систему и имеют потенциальное применение в молекулярной электронике, материаловедении, биомедицине, а также в качестве системы детектирования ионов. Предварительные исследования показали, что редокс-активные полифениленовые и пиридилфениленовые дендримеры обладают особенностями электрохимического поведения, что обуславливает необходимость тонкой подстройки их свойств для достижения требуемой функции [1-2]. Для увеличения чувствительности редокс-системы к обнаружению ионов предложен синтез ферроценсодержащих полифениленовых дендримеров с координирующим фрагментом вблизи редокс-центра. Проведен сравнительный анализ вольтамперометрических характеристик новых и полученных на предыдущих этапах работы дендримеров.



Список литературы:

- [1] Serkova E.S., Chamkin A.A., Boldyrev K.L., Shifrina Z.B. *Macromolecules* **53**, 2735, (2020).
[2] Chamkina E.S., Chamkin A.A., Shifrina Z.B. *Polymer* **228**, 123929, (2021).

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БЕНЗОЦИКЛОБУТЕНА И АКТИВНЫХ ДИЕНОФИЛОВ

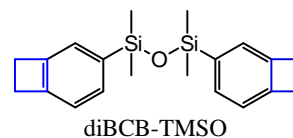
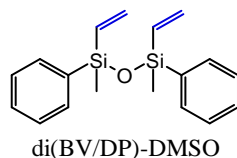
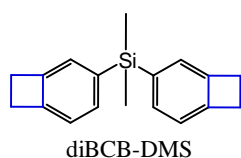
Чичева П.А.^{1,2}, Левченко К.С.^{1,2}, Демин Д.Ю.^{1,2}

¹Центральный научно-исследовательский технологический институт
«Техномаш», Россия

²МИРЭА — Российский технологический университет, Россия
pchicheva@mail.ru

Материалы, полученные из производных бензоциклобутена (БЦБ), за счет уникальных физико-химических свойств представляют большой интерес при создании высокоплотных интегральных электронных микросхем с высокой производительностью и малыми линейными размерами.[1] При температуре выше 160°C БЦБ переходит в активную о-ксилиленовую форму, способную вступать в реакцию Дильса-Альдера с диенофилами и другими БЦБ-фрагментами. [2] Обычно в структуру мономера на основе БЦБ сразу вводят и двойные связи, тем самым обеспечивая реакцию [4+2] циклоприсоединения. Образующиеся полимеры обладают выдающимися диэлектрическими свойствами, термической стабильностью, биосовместимостью, стойкостью к органическим растворителям и влаге.

В данной работе нами были синтезированы отдельно 2 мономера на основе БЦБ (diBCB-DMS [3] и diBCB-TMSO) и бифункциональный мономер, содержащий кратные связи (di(BV/DP)-DMSO). И были получены гомополимеры и сополимеры на их основе с различным соотношением компонентов.



Процесс термополимеризации проводился при постепенном нагревании в диапазоне 160-240°C. Было установлено, что вне зависимости от композиционного состава полученные полимеры показали хорошие диэлектрические свойства $\epsilon = 2.6-2.9$, $\text{tg } \delta = 2.6-7.2 \cdot 10^{-4}$ при 1 ГГц, высокую термическую стабильность $T_{d5\%} > 420$ °С в атмосфере аргона. Т.о. полученные материалы могут быть использованы для разработки диэлектрических композитов в микроэлектронике.

Список литературы:

- [1] Mills, M. E., Townsend, P., Castillo, D., Martin, S., & Achen, A. Benzocyclobutene (DVS-BCB) polymer as an interlayer dielectric (ILD) material. *Microelectronic Engineering*, **33**(1-4), 327–334 (1997).
- [2] Kirshhoff, R. A., Bruza, K. J. Benzocyclobutenes in polymer synthesis. *Progress in Polymer Science*, **18**(1), 85 (1993).
- [3] Levchenko, K. S., Adamov, G. E., Demin, D. Y., Chicheva, P. A., Chudov, K. A., Shmelin, P. S., & Grebennikov, E. P. Di(bicyclo[4.2.0]octa-1(6),2,4-trien-3-yl)dimethylsilane. *Molbank*, **2020**(4), M1160.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОДОДИСПЕРСИОННЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ НА ОСНОВЕ НЕПОЛНОГО НИТРАТА БЕТА-ЦИКЛОДЕКСТРИНА – ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Карпов С.В., Джалмуханова А.С., Бадамшина Э.Р.

*Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, г. Черноголовка
svkarpov@icp.ac.ru*

Синтез экологически безопасных вододисперсионных полиуретанов (ВДПУ) является одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений полимерной химии. Они представляют собой амфифильные полимеры, в качестве гидрофильной части которых следует рассматривать уретановые фрагменты, связанные с ионными центрами, а гидрофобных – уретановые фрагменты олигоэфиров и низкомолекулярных диолов/диаминов. В связи с этим, ВДПУ склонны к самоорганизации и могут образовывать мицеллы или везикулы. Благодаря своей амфифильной природе, они используются в качестве систем доставки пестицидов, обеспечивающих их контролируемое высвобождение. Очевидно, что емкость загрузки ВДПУ по отношению к пестицидам, а также возможность контроля над временем их удерживания будет определяться как природой биологически активного вещества, так и компонентным составом полимерной матрицы. Для повышения вышеперечисленных характеристик ВДПУ могут быть модифицированы соединениями, способными образовывать супрамолекулярные ансамбли с пестицидами, например, производными циклодекстрина. Мы предлагаем использовать неполные нитраты бета-циклодекстрина (НЦД), содержащие в своем составе в среднем четыре гидроксильные группы на макроцикл, для модифицирования ВДПУ. В рамках настоящей работы были синтезированы вододисперсионные полиуретаны, содержащие в своем составе от 5 до 15% масс. ковалентно связанного неполного нитрата бета-циклодекстрина. Ковалентная пришивка НЦД к полиуретановой матрице была подтверждена с использованием методов ИК-спектроскопии и эксклюзионной жидкостной хроматографии. Было показано, что введение НЦД приводит к увеличению средневесовой молекулярной массы исследуемых ВДПУ, а также уширению молекулярно-массового распределения. Кроме того, введение более 5% НЦД в состав ВДПУ приводит к увеличению среднего размера частиц дисперсий. Анализ реологического поведения полученных дисперсий полиуретанов свидетельствует о том, что они обладают псевдопластичным характером течения. В результате исследования теплофизических и термохимических характеристик пленок ВДПУ было установлено, что введение 15% НЦД повышает значение температуры стеклования с -63 °С до -48 °С. Как и следовало ожидать, наличие НЦД в составе ВДПУ снижает термическую стабильность исследуемых материалов.

Благодарности Работа выполнена по теме № 0089-2019-0008 Государственного задания (№ Гос. Регистрации аааа-а19-119041090087-4).

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИЕЙ ЭТИЛЕНА *IN-SITU* НА ТИТАН-МАГНИЕВОМ КАТАЛИЗАТОРЕ, НАНЕСЕННОМ НА НАНООКСИДЫ И УГЛЕРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ

Мацько М.А., Панченко В.Н., Захаров В.А.

*ФГБУН ФИЦ Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Российской
академии наук, г. Новосибирск
Matsko@catalysis.ru*

Методом полимеризации этилена *in-situ* в присутствии титан-магниевого катализатора (ТМК), закрепленного на поверхности предварительно дегидроксилированных наноксидов (ZrO_2 , SiO_2 , TiO_2 , глобул и нановолокон из Al_2O_3 (NafenTM (NF)) или углеродных наноматериалов синтезированы композиционные материалы на основе полиэтилена (ПЭ). Катализаторы получали последовательной обработкой наноматериалов магнийорганическим соединением ($MgBu_2$) и $TiCl_4$ с образованием ТМК на поверхности нанонаполнителя [1-3]. При полимеризации *in-situ* наблюдается частичное разрушение агломератов нанонаполнителей, что приводит к более равномерному распределению наполнителя в полимерной матрице. Морфология композитов, как правило, повторяет морфологию нанонаполнителя. При этом в случае нановолокон из Al_2O_3 по данным Сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) меняется морфология композита по сравнению с исходными частицами нанонаполнителя, см. рис. 1.

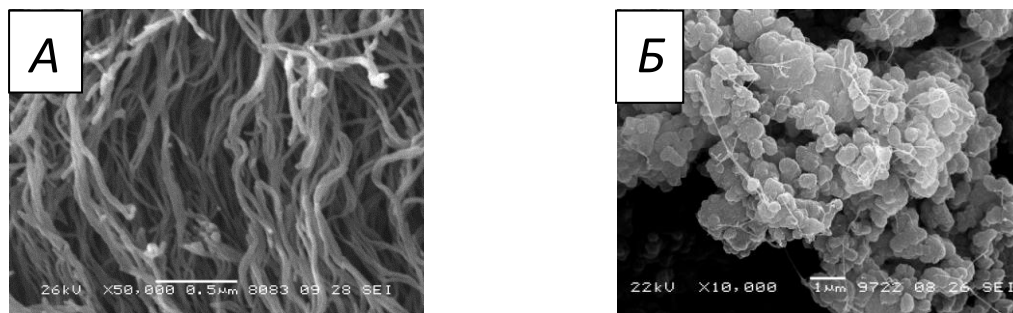


Рис. 1 - СЭМ волокон исходного нано- Al_2O_3 (А) и композита 18 гРЕ/г Al_2O_3 (Б). В зависимости от условий полимеризации возможно регулировать структуру полимерной части и содержание нанонаполнителя. Предложены области практического применения полученных нанокompозитов.

Список литературы:

[1] Panchenko V.N., Zakharov V.A., Matsko M.A. Polymer Science Series B. **64**, 791 (2022). [2] Kostyukov A.I., Panchenko V.N., Rakhmanova M.I., Nashivochnikov A.A., Matsko M.A., Suprun E.A. Materials Chemistry and Physics. **273**, (2021) 125140:1. [3] Zdanovich A.A., Semikolenova N.V., Kuznetsov V.L., Matsko M.A., Moseenkov S.I., Zakharov V.A. Journal of Applied Polymer Science. **136**, 48212:1 (2019).

Благодарности Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ в рамках проекта № 23-90-01001.

ПРИВИТЫЕ ПОЛИМЕРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ И ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ: ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА

Навроцкий А.В.

*Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград
a-navrotskiy@yandex.ru*

В докладе представлено одно из приоритетных направлений химии высокомолекулярных соединений, связанное с использованием полимеров для управления лиофильными свойствами поверхностей, а также для эффективного регулирования устойчивости дисперсных систем. Эти исследования связаны с управляемым синтезом полимерных цепей, химически связанных с поверхностью металлов или их оксидов, а также с управляемым синтезом сверхвысокомолекулярных водорастворимых полимеров и комплексов [1].

В данной работе системно изучены особенности синтеза привитых полимеров на основе метакриловых мономеров, содержащих как гидрофобные, так гидрофильные функциональные группы, на поверхности алюминия, оксидов металлов, хитозана и целлюлозосодержащих материалов. Разработаны способы управления лиофильными свойствами модифицированных поверхностей в широком диапазоне за счет варьирования химического строения привитых полимерных цепей и морфологии поверхностного слоя, а также методы управления биоразлагаемостью хитозановых материалов [2,3]. Получены супергидрофильные и супергидрофобные покрытия, способные сохранять свои свойства при длительных контактах с водными средами и органическими растворителями. Разработаны методы управления избирательной сорбцией и биоразлагаемостью хитозановых материалов за счет поверхностной модификации. Показана возможность биомедицинского применения модифицированных хитозановых материалов. Предложены подходы для получения полимерных материалов, которые могут рассматриваться как перспективные объекты для получения новых химических источников тока [4].

Список литературы:

- [1] С. С. Дрябина, К. М. Фотина, Ю. В. Шулевич, В. В. Климов, Е. В. Брюзгин, А. В. Навроцкий, И. А. Новаков. *Polymer Bulletin*. **77**(3), 1541 (2020).
- [2] В. В. Климов, Е. В. Брюзгин, А. В. Навроцкий, И. А. Новаков. *Surfaces and Interfaces*. **25**, 101255 (2021).
- [3] Е. В. Брюзгин, Е. Б. Брюзгина, В. М. Ярцева, К. А. Белина, О. А. Макевнина, О. В. Коляганова, В. В. Климов, А. В. Навроцкий, И. А. Новаков. *Fibers and Polymers*. **23** (9), 2502 (2022).
- [4] В. В. Климов, А. В. Кубарьков, О. В. Коляганова, Е. В. Брюзгин, А. В. Бабкин, А. В. Навроцкий, В. Г. Сергеев, И. А. Новаков, Е. В. Антипов // *Высокомолекулярные соединения. Серия А.* - 2023. - Т. 65, № 2. - С. 95-103

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках проекта № 23-73-00094.

1-О-13

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДЫ ЛИГАНДОВ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ПРОЦЕСС СИНТЕЗА ПЭТФ

Мурзаканова М.М., Мамхегов Р.М., Байказиев А.Э., Шахмурзова К.Т.,
Хаширова С.Ю.

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
m_m_murzakanova@mail.ru*

Одним из перспективных направлений развития химии полиэтилентерефталата (ПЭТФ) является поиск новых катализаторов для его синтеза.

В настоящем исследовании представлены результаты исследования влияния на синтез ПЭТФ различных по строению органических соединений титана с монодентатными и хелатными лигандами – тетраakis(третбутокс)титана, тетраakis(диэтиламино)титана, диизопропокси-бис(ацетитацетанато)титана, бис-(аммонийлактат)-гидроксидтитана, триэтиламиноизопропоксититана.

Полимеры, полученные при варьировании синтезированных катализаторов, исследовали методами ИК-спектроскопии, дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК), термогравиметрического анализа (ТГА), вискозиметрии, определены цветность, содержание концевых карбоксильных групп в целевом полимерном материале.

Выявлено, что изученные титансодержащие органические катализаторы имеют практически одинаковую активность, независимую от природы присоединенного лиганда. Значение концевых карбоксильных групп в полученных полимерах находится в пределах допустимого (13-22 ммоль/кг), что свидетельствует о создании в процессе синтеза условий для удлинения цепи полиэфира и получения образцов ПЭТФ с высокими молекулярно-массовыми характеристиками. Помимо высокой каталитической активности, синтезированные катализаторы позволяют получать полимеры с менее выраженной цветностью, а также сниженным содержанием диэтиленгликоля и ацетальдегида. Снижение ацетальдегида очевидно связано с присутствием в данных катализаторах функциональных групп с гетероатомами, в частности азотом, который может связываться как с концевыми карбоксильными группами, приводя к их гидролитической стабильности, так и с образующимся ацетальдегидом.

Обнаружено, что синтезированные титансодержащие органические катализаторы с различными лигандами проявили более высокую каталитическую активность по сравнению с алкоксидами титана, что позволило сократить синтез ПЭТФ с 5 до 1,5 часов.

Дальнейшие исследования в этом направлении послужат основой для разработки технологии синтеза ПЭТФ с использованием титансодержащих катализаторов, которые являются более активными и экологичными по сравнению с сурьмяными.

Благодарности

Работа выполнена в рамках КНТП по теме № 075-15-2022-1240 в центре прогрессивных материалов и аддитивных технологий КБГУ им. Х.М. Бербекова.

1-О-14

СИНТЕЗ ПОЛИМЕРНЫХ ЧАСТИЦ СТРУКТУРЫ ЯДРО/ОБОЛОЧКА С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Якобсон О.Д., Шевченко Н.Н.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук
г. Санкт-Петербург
iakobson.olga@yandex.ru*

Фотонные кристаллы представляют собой твердотельные структуры с изменяющимся показателем преломления или неоднородностью с периодом, сравнимым с длиной волны света. Исследования в этой области, начатые Эли Яблоновичем в 1986 году, в настоящее время продолжают и привлекают интерес ученых как с точки зрения фундаментальной науки, так и с точки зрения практических применений.

Формирование структурированных пленок, проявляющих фотонно-кристаллические свойства, возможно на основе монодисперсных полимерных частиц, чаще всего полистирола. При этом более перспективным направлением в этой области является разработка методов синтеза частиц со структурой ядро/оболочка, где при сохранении механической стабильности жестко сшитого ядра возможно придание дополнительных свойств образующимся композитным частицам за счет варьирования природы полимера оболочки.

В настоящем исследовании разработаны методы синтеза монодисперсных композитных частиц субмикронного размера со структурой ядро/оболочка методами затравочной и непрерывной эмульсионной полимеризации, где ядро сформировано на основе полистирола или его сополимера с метилметакрилатом, а оболочка образована смесью различных полиакрилатов. Комплексом методов исследования (ДСР, ИК-спектроскопия, РЭМ, термогравиметрия) установлено влияние состава оболочки на форму, диаметр, морфологию, структуру поверхности частиц, а также их способность к самосборке в тонкопленочные трехмерно упорядоченные структуры. Показано, что использование различных полиакрилатов для формирования оболочки позволяет не только изменять гидрофобность пленок на основе таких частиц, но и регулировать морфологию поверхности частиц, при этом возможно формирование частиц как с гладкой структурой поверхности, так и с “golf ball-like” структурой.

Для полимерных фотонно-кристаллических структур на основе синтезированных частиц ядро/оболочка наблюдается ярко выраженный сольватохромизм по отношению к парам этанола, при этом такие частицы оказываются более чувствительными, чем частицы на основе полистирола.

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 23-23-00501.

СИНТЕЗ ОКИСЛЕННЫХ ФРАКЦИЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И ЯБЛОЧНОГО ПЕКТИНА И ИХ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ С БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

Кутлугильдина Г.Г., Зимин Ю.С.

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Уфа, Россия

Яблочный пектин (ЯП) и поливиниловый спирт (ПВС) широко используются в медицинской практике благодаря их индифферентности к тканям живого организма. Применение пектина, ПВС и их окисленных фракций в качестве подложки для фармакологически активных соединений позволит снизить токсичность и пролонгировать действие лекарственных средств, увеличить растворимость труднорастворимых веществ и повысить их биодоступность.

В рамках настоящей работы изучен процесс окислительной деструкции вышеперечисленных полимеров с целью синтеза их окисленных фракций с более низкой молекулярной массой. Окисление проводили под действием пероксида водорода, озон-кислородной смеси и их совместным воздействием при следующих условиях: [ПВС] = 3.5% масс., [ЯП] = 2% масс., [H₂O₂] = 1 моль/л, V_{O₃+O₂} = 6 л/час. О происходящей деструкции судили по уменьшению значений масс осадков и молекулярных масс окисленных фракций. Окисленные фракции полимеров получали высаживанием ацетоном при соотношении их объемов 1:4, соответственно. Получившиеся осадки высушивали, взвешивали и подвергали анализу на характеристическую вязкость, откуда с помощью уравнения Марка-Куна-Хаувинка оценивали значения их молекулярных масс [1].

Для установления кинетической схемы окислительных превращений ЯП и ПВС использовали математическое моделирование. С помощью программного комплекса «Химкиноптома» удалось установить количество элементарных стадий процесса, включающие в себя стадии инициирования, лимитирующие стадии, стадии продолжения и обрыва цепей, их константы скорости, а также проследить накопление и расходование промежуточных и конечных продуктов путем решения обратной и прямой задачи химической кинетики [2].

Установлено, что в разбавленных водных растворах окисленные фракции ПВС и ЯП образуют с азотсодержащими веществами (4-, 5-аминосалициловыми кислотами, 6-метилурацилом, 5-гидрокси-6-метилурацилом, 5-нитро-6-метилурацилом, 5-бром-6-метилурацилом, 5-фторурацилом, 5-хлорурацилом и 6-аминоурацилом) комплексные соединения состава 1 : 1, то есть на одну COOH группу окисленной фракции полимера приходится одна молекула азотсодержащего вещества. Определены константы и термодинамические параметры комплексообразования [3].

Список литературы: [1] Зимин Ю.С., Кутлугильдина Г.Г., Мустафин А.Г. *Журнал физической химии* **92**, 374 (2018). [2] Кутлугильдина Г.Г., Зимин Ю.С., Мустафин А.Г., Сахибгареева М.В., Спивак С.И. *Бутлеровские сообщения* **61**, 79 (2020). [3] Зимин Ю.С., Кутлугильдина Г.Г., Рамазанова З.Ф., Мустафин А.Г. *Журнал физической химии* **96**, 1159 (2022).

Благодарности

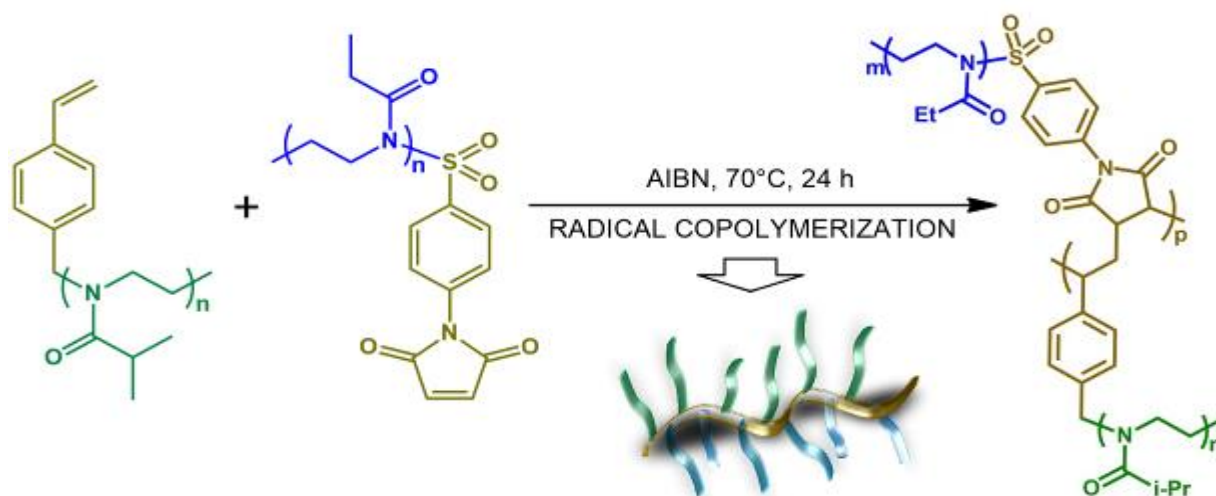
Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 19-73-20073.

СИНТЕЗ ПОЛИМЕРНЫХ ЩЁТОК С ЧЕРЕДУЮЩИМИСЯ БОКОВЫМИ ПОЛИОКСАЗОЛИНОВЫМИ ЦЕПЯМИ

Блохин А.Н., Разина А.Б., Кирилэ Т.Ю., Родченко С.В., Филиппов А.П.,
Теньковцев А.В.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
blokhin_an@hq.macro.ru*

В настоящей работе методом радикальной сополимеризации макромономеров синтезированы полимерные щётки с основной поли(стирол-альт-малеимид)ной цепью и чередующимися боковыми цепями поли(2-этил-2-оксазолин)а и поли(2-изопропил-2-оксазолин)а. Макромономеры поли(2-этил-2-оксазолин)а ($M_n=1800$ Да, $D=1.34$) и поли(2-изопропил-2-оксазолин)а ($M_n=1600$ Да, $D=1.29$) с радикально полимеризуемыми концевыми N-фенилмалеимидными и 4-винилбензильными функциональными группами соответственно были синтезированы методом катионной полимеризации с раскрытием цикла соответствующих 2-алкил-2-оксазолинов с использованием в качестве функциональных инициаторов N-(4-[хлорсульфонил]фенил)малеимида и 4-винилбензилхлорида.



Константы радикальной сополимеризации макромономеров были определены методом Файнмана-Росса ($r_1=0.013$, $r_2=0.107$) на основе данных, полученных методом спектроскопии ^1H ЯМР. Значения констант позволяют заключить, что при сополимеризации выбранных макромономеров основная цепь будет иметь структуру близкую к альтернантной. Молекулярно-массовые характеристики синтезированных полимерных щёток определены методами гель-проникающей хроматографии и статического светорассеяния. Показано, что полимерные щётки имеют унимодальное молекулярно-массовое распределение ($D=1.6-1.9$), низкую степень полимеризации и характеризуются числом боковых цепей в диапазоне $f=10-20$ в зависимости от загрузки инициатора.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта № 23-23-00079.

ПОЛУЧЕНИЕ ПРОТОНИРОВАННЫХ ДИАЛЛИЛАММОНИЕВЫХ ПОЛИМЕРОВ МЕТОДОМ ОПЦ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ

Еременко И.В.¹, Бондаренко Г.Н.¹, Симонова Ю.А.¹, Евлампиева Н.П.², Тимофеева Л.М.¹

¹*Институт нефтехимического синтеза имени А.В. Топчиева
Российской академии наук, г. Москва*

²*Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет,
г. Санкт-Петербург
iveremenko@ips.ac.ru*

В последнее время наблюдается повышенный интерес к протонированным полимерам диаллиламмониевого ряда, полученным методом радикальной полимеризации, в первую очередь ввиду особенностей химической структуры данных соединений [1, 2]. Мономерные пирролидиниевые звенья обладают одновременно высокой гидрофобностью и гидрофильностью благодаря протонированным аммониевым группам, способных к водородному связыванию. Это основное отличие вторичных и третичных диаллиламмониевых полимеров (ПДАА) от их четвертичных аналогов, обуславливающее некоторые уникальные свойства протонированных ПДАА, в том числе их биоцидную активность по отношению к ряду больничных патогенов, в том числе *M. tuberculosis* [3]. В данной работе исследована применимость метода обратимой передачи цепи по механизму присоединения-фрагментации (ОПЦ) для радикальной циклополимеризации трифторацетата диаллиламмония (ДААТФА) [4]. Впервые показано, что при полимеризации ДААТФА в присутствии ОПЦ агента этилксантогенуксусной кислоты (ксантата) в водных растворах при 70 °С ингибируется реакция переноса цепи на мономер и достигается контроль над полидисперсностью при $\bar{D} = 1.2-1.3$ [4]. Молекулярные характеристики полученных образцов были исследованы методом диффузионно-седиментационного анализа с использованием соотношения Сведберга и методом динамического светорассеяния. [5]

Список литературы:

- [1] *Timofeeva L.M., N.A. Klescheva, Yu.A. Vasilieva, G.L. Gromova, G.I. Timofeeva, M.P. Filatova. // Polym. Sci., Ser. A. 2005. V. 47. P. 551.*
- [2] *Simonova Y.A., M.P. Filatova, L.M. Timofeeva. // Polym. Sci., Ser. B. 2018. V. 60. P. 445.*
- [3] *Timofeeva L.M., N.A. Klescheva, Shleeva M.O., Filatova M.P., Simonova Yu.A., Ermakov Yu.A., Kaprelyants A.S. // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2015. V. 99. P. 2557.*
- [4] *Simonova Yu.A., Topchiy M.A., Filatova M.P., Yevlampieva N.P., Slyusarenko M.A., Bondarenko G.N., Asachenko A.F., Nechaev M.S., Timofeeva L.M. // Eur. Polym. J. 2020. V.122. P. 109363.*
- [5] *Н.П. Евлампиева, О.С. Везо, М.А. Слюсаренко, А.С. Губарев, Ю.А. Симонова, И.В. Еременко, М.А. Топчий, Л.М. Тимофеева. // Высокомолек. соед., 2023 (статья в печати).*

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО МОНОМЕРА НА КОЛЛОИДНЫЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКРИЛАТНЫХ ЛАТЕКСОВ, ПОЛУЧЕННЫХ В ОТСУТСТВИЕ ЭМУЛЬГАТОРА

Мишунин С.В., Агибалова Л.В., Суханова Т.Е.

Федеральное государственное бюджетное учреждение "Ордена Ленина и Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт синтетического каучука имени академика С. В. Лебедева" (ФГБУ НИИСК)

*г. Санкт-Петербург
sergeymishunin@mail.ru*

Безэмульгаторная эмульсионная сополимеризация, в отличие от традиционной, является перспективным промышленным способом получения акрилатных каучуков, поскольку позволяет решить проблему очистки полимеров от остаточных эмульгаторов и исключить их попадание в сточные воды [1]. Возможность получения коллоидно-стабильных латексов на основе *n*-бутилакрилата (БА) и полярных сомономеров без использования в рецептуре синтеза химически насыщенных эмульгаторов с высокой степенью конверсии показана нами ранее [2]. В данной работе роль стабилизаторов образующихся латексных частиц выполняли: анионный поверхностно-активный мономер (ПАМ), способный ковалентно встраиваться в полимерную цепь, а также образующиеся первичные олигомерные структуры, обладающие поверхностной активностью [3]. Установлено, что использование ПАМ в качестве стабилизатора синтезируемых дисперсий, при варьировании соотношения гидрофобного БА и сомономеров с различной растворимостью в воде (акрилонитрила и метакриловой кислоты), приводит к формированию частиц по двум механизмам – мицеллярному и гомогенному. Методом оптической микроскопии исследована морфология латексов разного мономерного состава и молекулярной массы. Обнаружено наличие у частиц объемной защитной оболочки сложной структуры. При этом, поверхность частиц высоко заряжена, значения ξ -потенциала, определённого методом электрофоретического светорассеяния, находятся в интервале от -58.5 до -62.7 мВ. Агрегативная устойчивость обусловлена химической модификацией поверхности частиц в процессе синтеза высоко гидрофильными структурами ПАМ. Методом ДРС установлено постоянство дисперсности частиц при хранении латексов в течение длительного времени (более 24 мес.), что подтверждает их высокую коллоидную стабильность.

Список литературы:

- [1] *Мишунин С.В., Суханова Т.Е.* Современные тенденции развития химической технологии, промышленной экологии и экологической безопасности, Санкт-Петербург (2023) С. 98.
- [2] *Мишунин С.В., Баранец И.В., Корнеева С.А., Агибалова Л.В., Береснев В.Н.* Каучук и резина. - Т. 81, № 2. - С. 76-81, (2022).
- [3] *Мишунин С.В., Суханова Т.Е., Агибалова Л.В., Баранец И.В.* Неделя науки-2023. Санкт-Петербург, (2023) С. 113.

НОВЫЕ ИОНООБМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА

Мухамедиев М.Г., Бекчанов Д.Ж., Ботиров С., Файзуллаев Ю.

*Национальный университет Узбекистана, г. Ташкент
mukhamediev@mail.ru*

Одним из способов модификации ПВХ, приводящей к изменению свойств и характеристик получаемых материалов, являются химические реакции полимера с низкомолекулярными и высокомолекулярными соединениями. Это обстоятельство определяет актуальность исследований по поиску новых сополимеров, получаемых при взаимодействии ПВХ с полиэтиленполиамином (ПЭПА) и соединениями серы, изучению свойств полученных продуктов. В таблице приведены свойства ионообменных материалов полученных химическими превращениями ПВХ [1,2,3].

Таблица

Свойства и применение ионообменных материалов на основе ПВХ

Полимерная матрица	Модификатор	СОЕ, (мг-экв г ⁻¹)	Применения	Массовая доля элементов, (%)			
				С	N	P	S
ПВХ	ПЭПА	6.58 (HCl)	Ионообменный материал на основе ПВХ и ПЭПА может быть использован при очистке сточных вод от ионов Cr(VI), Cu(II), Ni(II), Co(II).	56.4	23.1	-	-
ПВХ	ПЭПА +H ₃ PO ₃	6.14 (HCl); 5.34 (NaOH)	Полиамфолит, полученный на основе ПФЭ-1 и H ₃ PO ₃ , может быть использован при разделении ионов благородных металлов в растворах.	61.4	8.1	3.6	-
ПВХ	S, CaS _n →SO ₃ H ⁻	3.24 (NaOH)	Сульфокатиониты могут использоваться в основном для умягчения сточных вод.	68.3	-	-	4.3
ПВХ	S→SO ₃ H ⁻ + ПЭПА	5.51 (HCl); 3.1 (NaOH)	Азот- и серосодержащие полиамфолиты могут быть использованы при разделении ионов цветных металлов.	64.2	11.7	-	3.8

Список литературы:

- [1] *Bekchanov D., Kawakita H., Mukhamediev M., Khushvaktov S., Juraev M.* Polym. Adv. Technol. **V. 32**, P. 2700–2709 (2021). <https://doi.org/10.1002/pat.5209>
 [2] *Lieberzeit P., Bekchanov D., Mukhamediev M.* Polym. Adv. Technol. 1-18 (2022). <https://doi.org/10.1002/pat.5656>.
 [3] *Mukhamediev M.G., Bekchanov D.Zh.* Russ. J. Appl. Chem. 2019. V. 92. №11. P. 1499–1505. <https://doi.org/10.1134/S1070427219110053>

Благодарности

Работа выполнена в рамках научного проекта AL-552101242 финансируемого Министерством образования науки и инновации Республики Узбекистан.

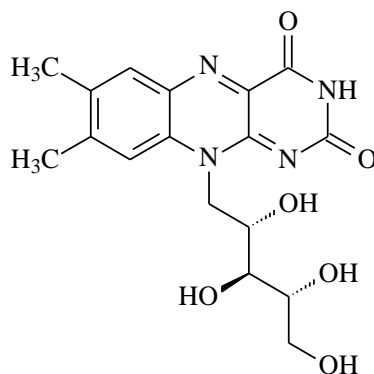
РИБОФЛАВИН КАК ФОТОКАТАЛИЗАТОР ПОЛИМЕРИЗАЦИИ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА

Лизьякина О.С., Ваганова Л.Б., Гришин Д.Ф.

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
г. Нижний Новгород
oksana.94.02@mail.ru

Органокатализ как способ снижения экологической нагрузки успешно применяется при синтезах в условиях фотооблучения [1]. Особый интерес в плане изучения каталитической активности представляют соединения с конденсированными ароматическими системами, в том числе природные.

Целью работы было изучение полимеризации метилметакрилата (ММА) с участием витамина В₂ (рибофлавина) в роли фотокатализатора безметаллической полимеризации с переносом атома [2].



Рибофлавин

Установлено, что сочетание рибофлавина с этил-2-бромизобутиратом или *трет*-бутилбромидом в соотношении 1 / 100 позволяет инициировать полимеризацию ММА при облучении светом УФ (~ 365 нм) и видимой области спектра (400-700 нм) без дегазации реакционной среды.

При облучении белым светом выходы полиММА достигают ~ 90%. Среднечисленная молекулярная масса (M_n) получаемых образцов с ростом конверсии мономера линейно возрастает. Трибутиламин (Vi_3N) способствует увеличению общей скорости полимеризации и снижению M_n . Линейный рост M_n по ходу процесса сохраняется. Коэффициенты полидисперсности (\bar{D}) не зависят от наличия амина и остаются ~ 1.8-2.0. Аналогичные закономерности полимеризации ММА наблюдаются и при использовании света с $\lambda_{max} \sim 365$ нм, при этом значения \bar{D} не превышают 1.8.

Установлено, что варьируя состав и соотношение компонентов каталитической системы рибофлавин / броморганическое соединение / амин, а также область спектра излучения и природу растворителя, удается получать полиММА с предельными выходами, значениями молекулярных масс ~ 10-300 кДа с сохранением $\bar{D} \sim 1.4-1.6$ даже в присутствии кислорода воздуха.

Список литературы:

- [1] Candish, L.; Collins, K.D.; Cook, G.C. et al. Chem. Rev., **122**, 2907 (2022).
[2] Corbin, D.A.; Miyake, G.M. Chem. Rev., **122**, 1830 (2022).

ПОЛУЧЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАСТИФИЦИРОВАННЫХ КОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК АРАБИНОГАЛАКТАНА, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ КАРБОНОВЫМИ КИСЛОТАМИ

Боровкова В.С.^{1,2}, Маляр Ю.Н.^{1,2}, Казаченко А.С.^{1,2}

¹*Институт химии и химической технологии РАН, г. Красноярск*

²*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*
bing0015@mail.ru

Одним из перспективных направлений в мировой промышленности является замена синтетических полимерных материалов на искусственные полимеры. Арабиногалактан (АГ) в свою очередь является уникальной гемицеллюлозой, легко экстрагируемой из растительной биомассы и характеризующейся комплексом ценных свойств, важнейшими из которых являются высокая биологическая активность и водорастворимость [1, 2].

В данной работе предложен новый экологически безопасный способ модификации АГ многоосновными карбоновыми кислотами: щавелевой (ЩК), янтарной (ЯК), адипиновой (АК) и лимонной (ЛК) при разных условиях обработки реакционной смеси: термическая сушка и лиофилизация. Исследование полученных производных АГ комплексом физико-химических методов показало, что вне зависимости от вида сушки в ИК-спектрах проявляются полосы поглощения карбонильных групп (C=O) в области 1750-1690 см⁻¹, свидетельствующих об образовании сложноэфирных связей. Однако плёнки, полученные в условиях термического высушивания (~ 80 °С), продемонстрировали ограниченную растворимость в воде, связанную с образованием дополнительных внутри- и межмолекулярных связей. В особенности данное явление проявляется в случае образца АГ/ЛК, что связано со структурой сшивающего агента, содержащего три карбоксильные группы, тесно связанные с ОН-группами АГ.

При исследовании сорбционных свойств производных АГ было показано, что наибольшей сорбционной емкостью обладает образец АГ/ЯК (82,52 %), полученный методом лиофилизации. При данном методе обработки образуются пленки АГ с волокнистой структурой с множеством каналов, что в свою очередь говорит о перспективах использования полученных плёнок в качестве «зеленого» экологически чистого материала для носителей лекарственных средств, сорбентов и водоподготовки.

Список литературы:

[1] *Chudina A.I., Malyar Yu.N., Sudakova I.G. et al. Biomass Conv. Bioref. (2021).*

[2] *Lucyszyn N., Ono L., Lubambo A.F. et al. Carbohydrate Polymers. 151, 889-898 (2016).*

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 22-73-10212. В работе использовано оборудование Красноярского регионального центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН.

СУЛЬФОСОДЕРЖАЩИЕ КРИОГЕЛИ КАК МАТЕРИАЛ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Лаишевкина С.Г.¹, Кулешова Т.Э.², Панова Г.Г.², Шевченко Н.Н.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Агрофизический научно-исследовательский институт,
г. Санкт-Петербург
s.laishevkina@gmail.com*

Полимерные гидрогели на основе сульфосодержащих сомономеров являются перспективными материалами для биотехнологического применения, а именно для использования в качестве системы доставки воды и минеральных веществ при прорастании семян в условиях зоны нестабильного увлажнения.

В данной работе методом криотропного гелеобразования были получены криогели на основе сополимеров 3-сульфопропилметакрилата и 2-гидроксиэтилметакрилата с использованием различных влагоудерживающих агентов таких как мочевины, наноалмазы, гидроксипропилцеллюлоза и крахмал. Показано, что синтезированные криогели характеризуются степенью набухания 1000 г/г, что превышает значения, характерные для гелей на основе природных полимеров, часто используемых в агрокультуре.

Установлено, что морфология, удельная поверхность и характер набухания криогелей зависят от общей концентрации мономеров в реакционной системе и содержания гель-фракции в криогелях. Показано, что введение наноалмазов и мочевины (с концентрацией до 3 мас.%) в качестве гидрофильных агентов приводит к увеличению степени набухания гелей, в то время как наличие гидроксипропилцеллюлозы и крахмала концентрацией свыше 0.1 мас.%, наоборот, снижает степень набухания синтезированных криогелей.

Криогели, синтезированные в присутствии дополнительных агентов, использовали для прорастания семян *Lepidium sativum* L. сорта Ажур. В результате было показано, что криогели, образующиеся в присутствии наноалмазов, проявляют высокую биологическую активность, что проявляется в стимуляции прорастания семян и значительном увеличении сырой массы проростков.

Таким образом, полученные результаты показывают, что сульфосодержащие криогели обладают высоким потенциалом для улучшения прорастания семян и роста растений, доказывая, что их можно использовать в качестве экологически чистых материалов для сельскохозяйственных применений.

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке РНФ согласно соглашению 25.03.2022 г. № 22-26-20087 и Санкт-Петербургского научного фонда в соответствии с соглашением от 12.04.2022 г. №01/2022, грант № 22-26-20087.

ТАНДЕМ ПРОЦЕСС МЕТАТЕЗИСНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ – ГИДРИРОВАНИЕ ДВОЙНЫХ СВЯЗЕЙ ОСНОВНОЙ ЦЕПИ ОЛИГОМЕРОВ ЦИКЛООКТЕНА

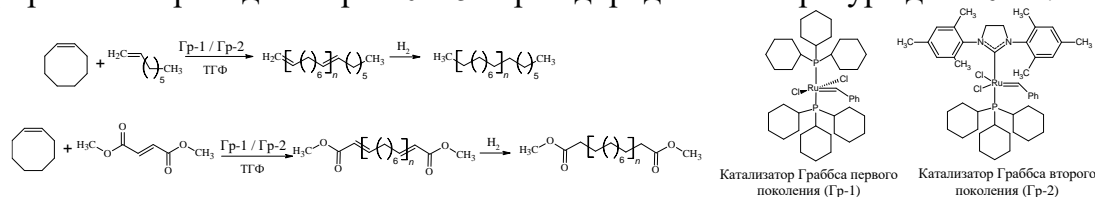
Степанянц В.Р.¹, Наземутдинова В.Р.^{1,2}, Жигарев В.А.¹, Ильин С.О.¹, Топчий М.А.¹,
Моронцев А.А.¹, Бермешев М.В.¹

¹Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, г. Москва

²МИРЭА-Российский технологический университет», Институт тонких
химических технологий им. М.В. Ломоносова, г. Москва

svr@ips.ac.ru

Метатезисная полимеризация напряженных циклоолефинов удобный метод получения ненасыщенных полимеров различной архитектуры. Использование устойчивых к кислороду и влаге воздуха Ru-карбеновых катализаторов метатезиса делает данный метод ещё более привлекательным. Наличие в структуре метатезисных полимеров двойных связей позволяют вести дельнейшую модификацию основной цепи. Например, гидрирование метатезисных полимеров придает им термическую стабильность. Катализировать гидрирование продуктов метатезиса могут Ru-производные, что позволяет проводить тандемные процессы метатезисной полимеризации – гидрирование двойных связей в одном реакционном сосуде без выделения промежуточного продукта [1]. Целью данной работы являясь разработка метода тандемного процесса метатезисной полимеризации циклооктена – восстановления полученного продукта. В дальнейшем данный метод будет использован для получения гидрированных метатезисных полимеров, содержащих функциональные группы. Полимеризацию циклооктена проводили под действием катализатора Граббса первого или второго поколения в среде ТГФ в присутствии октена-1 или диметилового эфира малеиновой кислоты при различном соотношении исходных реагентов. Гидрирование проводили при 10–15 бар водорода и температуре до 120 °С.



Подобраны условия полимеризации циклооктена в среде ТГФ, позволяющую достигать количественную конверсию мономера. Получен полициклооктен различной молекулярной массы и проведено его гидрирование. Строение исходных и гидрированных олигомеров циклооктена подтверждено ¹H, ¹³C ЯМР спектроскопией. Определено влияние типа катализатора, агента передачи цепи и соотношения исходных реагентов на характеристики продуктов метатезиса и степень гидрирования. Изучены термические и реологические свойства исходных и гидрированных олигомеров циклооктена.

Список литературы:

[1] Drouin S.D., Zamanian F., Fogg D.E. *Organometallics* **20** (26), 5495 (2001).

Благодарности

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИИХС РАН.

ПРИДАНИЕ АНТИМИКРОБНЫХ СВОЙСТВ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫМ И БЕЛКОВЫМ ПОЛИМЕРНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Кудрявцева Е.В., Буринская А.А.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург
ekaterina.kudr@bk.ru

В данной работе проведены исследования по модификации полимерных материалов бикомпонентными наночастицами медь-серебро (Cu-Ag) для придания антимикробных свойств с сохранением этих свойств в процессе эксплуатации. Синтез наночастиц происходит непосредственно в структуре и на поверхности субстрата *in situ* из растворов соответствующих солей за счет разности окислительных потенциалов (E_0) пар Ag^+/Ag^0 и Cu^{2+}/Cu^0 , а также взаимодействия с функциональными группами текстильного материала восстановительного характера. Модификации подвергали хлопчатобумажные, льняные, конопляные, вязкие, шерстяные и шелковые волокнистые материалы. Спектры отражения модифицированных полимерных материалов показали минимум при длине волны в диапазоне 410–430 нм, характерной для поверхностного плазмонного резонанса нульвалентного серебра, что свидетельствует в пользу образования наночастиц с оболочкой из серебра. Фурье-инфракрасная и Рамановская спектроскопия показали наличие химических связей синтезированных наночастиц с функциональными группами субстратов. Размеры образовавшихся наночастиц варьируются в диапазоне от 40 до 100 нм. Подтверждены устойчивость к микробиологическому разрушению, воздействию плесневых грибов *P. chrysogenum*, высокое бактерицидное действие модифицированных полимерных материалов в отношении штаммов, вызывающих нозокомиальные инфекции: *E. coli*, *S. aureus*, *A. baumannii*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *E. Faecalis*. Исследуемые образцы показали снижение количества микроорганизмов на 4–8 порядков за 24 часа при исходной концентрации 10^8 КОЕ/мл (КОЕ – колониеобразующая единица). После 25 стирок модифицированных тканей в соответствии с ГОСТ бактерицидная активность сохранилась на том же уровне. Модифицированные наночастицами образцы показали большую бактерицидность по сравнению с образцами, обработанными препаратом *Sanitized T 27-32 Silver* (Швейцария). Обнаружен синергетический эффект антибактериального и противогрибкового действия бикомпонентных наночастиц Cu-Ag.

Кроме того, установлена вирулицидная активность модифицированных материалов против гриппа *A/Puerto Rico/8/34 (H1N1)* и Коксаки В3 в течение 12 и 24 ч. Инфекционный титр вируса (\lg TCID₅₀/0.2 мл) после инкубации с модифицированными образцами для вируса гриппа А составил $1,7 \pm 0,6$ и $1,0 \pm 0,0$, для Коксаки В3 $0,3 \pm 0,6$ и $0,0 \pm 0,0$ спустя 12 ч и 24 ч, соответственно. Титр вируса контрольного образца в обоих случаях составил $3,7 \pm 0,6$.

Полученные материалы приобретают окраску от золотисто-желтой до темно-коричневой, что позволяет исключить операцию крашения, тем самым снизить негативное воздействие на окружающую среду. Методом биотестирования доказано, что модифицированные субстраты не являются токсичными.

**ВЛИЯНИЕ БУРА-ФОСФАТНОГО БУФЕРНОГО РАСТВОРА НА
МАТРИЧНУЮ ПОЛИМЕРИЗАЦИЮ
ТРИМЕТИЛМЕТАКРИЛОИЛОКСИЭТИЛАММОНИЙ
МЕТИЛСУЛЬФАТА В МИЦЕЛЛЯРНЫХ РАСТВОРАХ
ДОДЕЦИЛСУЛЬФАТА НАТРИЯ**

Быков Д.С.¹, Шулевич Ю.В.¹, Вовк М.А.², Духанина Е.Г.¹, Навроцкий А.В.¹,
Новаков И.А.¹

¹Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
BikovDenis96@yandex.ru

Распространенным способом синтеза полиэлектролитов является свободнорадикальная (со)полимеризация. Ее основным недостатком является неконтролируемость процесса, которая приводит к уширению молекулярно-массового распределения полимера. Для уменьшения полидисперсности используют различные методы контролируемой радикальной полимеризации (SFRP, ATRP, RAFT), однако молекулярная масса полученных полимеров не превышает 10^5 . Кроме этого, применение этих методов для полимеризации в водных средах затруднено. Ранее [1] было показано, что матричная полимеризация ионных мономеров на мицеллах ПАВ позволяет получать полиэлектролиты с заметно меньшей полидисперсностью, чем полиэлектролиты, полученные свободнорадикальной полимеризацией в воде при сохранении высокой молекулярной массы. Целью данной работы является изучение влияния бура-фосфатного буферного раствора на матричную полимеризацию в мицеллярных растворах ПАВ. На данном этапе работ осуществлена радикальная матричная полимеризация триметилметакрилоилоксиэтиламмоний метилсульфата в мицеллярных растворах в бура-фосфатном буферном растворе. Синтез полиэлектролитов проводился в широком интервале концентраций ПАВ при эквимольном соотношении мономер/ПАВ, температура полимеризации составляла 60°C, использовали инициатор 2,2'-Азобис(2-метилпропионамидин) дигидрохлорид, концентрация 0,5 мМ. Характеристическая вязкость полиэлектролитов измерялась в вискозиметре Уббелоде с диаметром капилляра 0,54 мм, при 20°C в 0,5М NaNO₃. Среднемассовую молекулярную массу (M_w) определяли с использованием статического светорассеяния методом двойной экстраполяции Зимма. Кинетику полимеризации изучали методом ЯМР ¹H. Характеристическая вязкость полученных полиэлектролитов возрастает с 1,95 дл/г до 3,79 дл/г при изменении концентрации ПАВ с 0,1 до 0,3 моль/л, что указывает на увеличение молекулярной массы полиэлектролитов. Действительно, среднемассовая молекулярная масса полиэлектролитов изменяется в интервале $(2,6 - 7,3) \cdot 10^{-6}$ г/моль. Полученные результаты обсуждаются во взаимосвязи с кинетическими закономерностями процесса.

Список литературы: [1] Шулевич Ю.В. Ковалева О.Ю., и др. Высокомолекулярные соединения, сер. А, т. 49, № 12, с.2085-2091. (2007). **Благодарности** Исследования ЯМР ¹H проводились в Санкт-Петербургском государственном университете. Ресурсный центр "Магнитно-резонансные методы исследования."

КОНТРОЛИРУЕМАЯ РАДИКАЛЬНАЯ СОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ 5-ВИНИЛТЕТРАЗОЛОВ С N-ВИНИЛПИРРОЛИДОМ В УСЛОВИЯХ ОБРАТИМОЙ ПЕРЕДАЧИ ЦЕПИ

Крыгина Д.М.¹, Сивцов Е.В.^{1,2}, Гостев А.И.², Байгильдин В.А.³

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет), г. Санкт-Петербург*

³*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
krygina.dm@gmail.com*

Поли-5-винилтетразолы малотоксичны и биосовместимы, обладают собственной адьювентативной, противoproфилерационной и радиопротекторной активностью. Добавление звеньев N-винилпирролидона в цепи поли-2-метил-5-винилтетразола придает полимеру водорастворимость [1,2]. Молекулярная масса небiodeградируемых полимеров, вводимых в организм парентерально, должна находиться в пределах 20-50 кДа ($\bar{M}=1.1-1.2$) во избежание быстрого выведения или накопления в организме [3]. Синтез полимеров с заданными молекулярно-массовыми характеристиками возможен с использованием техники контролируемой радикальной полимеризации с обратимой передачей цепи по механизму присоединения-фрагментации (ОПЦ/RAFT полимеризация).

В работе была проведена ОПЦ сополимеризация 5-винил-1*H*-тетразола (ВТ) и 2-метил-5-винилтетразола (МВТ) с N-винилпирролидоном (ВП) в присутствии агента обратимой передачи цепи 4-циано-4-(((додецилтио)карбонотиоил)тио)пентановой кислоты (ЦДК) при содержании ВП в исходной смеси 25, 50 и 75 мол. %. Все полученные сополимеры МВТ-ВП и ВТ-ВП характеризуются молекулярной массой до 30 кДа и низкими коэффициентами полидисперсности ($\bar{M}=1.1-1.5$). Молекулярная масса у сополимеров ВТ-ВП в среднем выше, чем у сополимеров МВТ-ВП, что связано с большей активностью ВТ в радикальной полимеризации. При увеличении доли ВП в исходной мономерной смеси наблюдается ухудшение контроля полимеризации. Таким образом, ЦДК хорошо контролирует полимеризацию активных мономеров МВТ и ВТ и несколько хуже контролирует полимеризацию неактивного мономера ВП. Улучшить контроль, в таком случае, может применение универсальных (переключаемых) ОПЦ-агентов, например, протонированных дитиокарбаматов.

Список литературы:

[1] Кижняев В.Н., Смирнов А.И., Бирюкова Е.И., Новиков В.И., Апарин П.Г. Хим.-Фарм. Журнал. Т. 26, С. 55–56, (1992).

[2] Кедик С.А., Сакаева И.В., Кочкина (Черта) Ю.В., Еремин Д.В., Панов А.В. Сулов В.В. Хим.-Фарм. Журнал. Т. 46, С. 30–33, (2012).

[3] Luxenhofer R. Z. fur Naturforsch. - C J. Biosci. V. 75, P. 303–311, (2020).

Благодарности

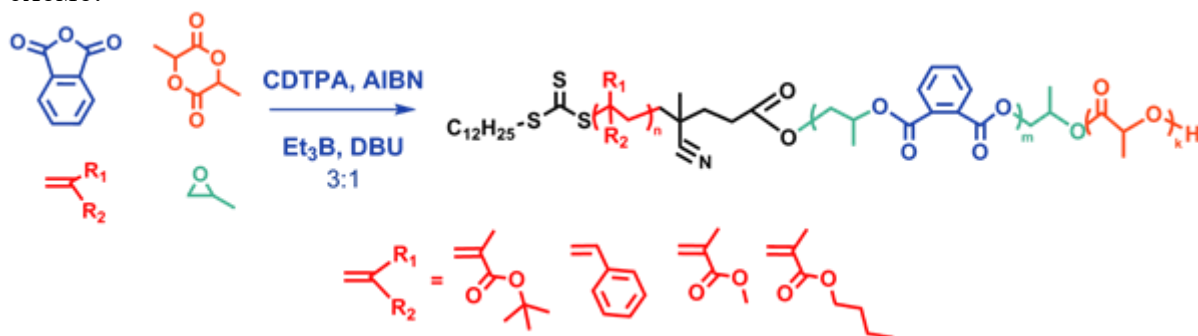
Работа авторов из ИВС РАН выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания ИВС РАН (проект № АААА-А20-120022090039-8).

МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИЛАКТИДА МЕТОДОМ ROCOP-RAFT ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РЕЗОРБИРУЕМЫХ СКАФФОЛДОВ

Чичаров А.А., Григорьева А.О., Зайцев С.Д.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород
aleksandr.tchicharov@yandex.ru

В настоящее время полилактид является одним из перспективных полимерных материалов в тканевой инженерии для изготовления резорбируемых скаффолдов. Однако его область применения существенно снижена плохими физико-механическими свойствами. Устранить данный недостаток можно сополимеризацией лактида с коммерчески доступными мономерами методом ROCOP-RAFT полимеризации. Использование бифункционального агента обратимой передачи цепи 4-циано-4-(додецилкарбонотиоилтио)-пентановой кислоты (CDTPA) позволяет получать блок-сополимеры по представленной ниже схеме:



Использование толерантных друг к другу соинициаторов и сокатализаторов позволило провести синтез в одну стадию. Молекулярно-массовые характеристики сополимеров были изучены методом гель-проникающей хроматографии. Во всех случаях кривые ММР сополимера являлись унимодальными и имели низкие значения дисперсности ($\bar{M}_w/\bar{M}_n = 1.08-1.22$). Состав сополимеров был подтвержден методом ^1H ЯМР-COSY спектроскопии. Изучены физико-механические свойства пленок, полученные из блок-сополимеров методом полива. Предел прочности на разрыв пленки сополимера бутилметакрилата составил 11.86 ± 1.29 МПа при относительном удлинении $70.89 \pm 18.52\%$.

Список литературы:

- [1] Zhu S., Zhao Y., Ni M., Xu J., Zhou X., Liao Y., Wang Y., Xie X. ACS Macro Lett. – 9 (2), 204 (2020).
- [2] Stçber T., Mulryan D., Williams C.K. Angew. Chem. Int. Ed. – 57, 1 (2018).

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОКАТАЛИЗИРУЕМОЙ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ СТИРОЛА В ПРИСУТСТВИИ АГЕНТОВ ОБРАТИМОЙ ПЕРЕДАЧИ ЦЕПИ

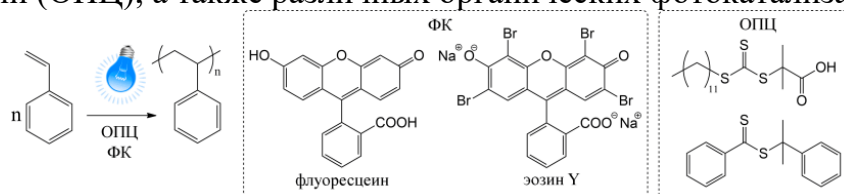
Воробьев Д.С.^{1,2}, Вайтусенок А.А.^{1,2}, Костюк С.В.^{1,2}

¹Химический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь
VorobyevJack@gmail.com

Функциональные полимерные материалы широко применяются в различных областях науки и техники: биомедицине, оптоэлектронике, свето- и электротехнике, энергетике, нанотехнологии и др. Для их получения применяют разнообразные методы контролируемой полимеризации как по отдельности, так и их комбинации [1]. Одним из таких материалов является термоэластопласт поли(стирол-блок-изобутилен-блок-стирол), который является биостабильным, а также био- и гемосовместимым, что делает его идеальным кандидатом для медицинского применения: в частности, он используется как покрытие металлических стентов, в глазных и сосудистых протезах и т.д. [2]. Основным методом его получения является живая катионная полимеризация, имеющая ряд недостатков, таких как низкие температуры, особая чистота реактивов, побочные реакции и др. [3], которые можно устранить, используя методы контролируемой радикальной полимеризации [4].

В данной работе была исследована RAFT-полимеризация с фотоиндуцированным переносом электрона (PET) стирола в присутствии различных агентов обратимой передачи цепи (ОПЦ), а также различных органических фотокатализаторов (ФК).



Было установлено, что PET-RAFT полимеризация стирола характеризуется наличием индукционного периода, который при различных условиях составляет от 10 до 150 ч, при этом механизм полимеризации меняется в зависимости от использованного ОПЦ-агента. Полистирол с контролируемой молекулярной массой (до 11000 г/моль) и низкой полидисперсностью ($\text{Đ} \leq 1,4$) был синтезирован в оптимизированных условиях с выходом 73 % за 51 ч.

Список литературы:

- [1] Wang, K. [et al.] Mater. Chem. Front. **4**, 1803 (2020).
- [2] Pinchuk, L. [et al.] Biomaterials **29** (4), 448 (2008).
- [3] Storey, R.F., Chisholm, B.J. Macromolecules **26** (25), 6727 (1993).
- [4] Jakubowski, W. [et al.] Macromolecules **41** (7), 2318 (2008).

Благодарности

Авторы выражают благодарность ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорганхимия», подпрограмма «Химические технологии процессы и реагенты» (проект 2.1.01.03).

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ СИНТЕЗА ДИНИТРАТА МЕТРИОЛА

Тронеv И.В.¹, Горячева А.Н.², Аллун Э.Д.³, Лукьянова А.А.⁴, Лесников И.И.⁵,
Даровских А.В.⁵

¹Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”,
г. Москва

²Государственный академический университет гуманитарных наук, г. Москва

³Казанский национальный исследовательский технологический университет

⁴Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь

⁵Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и
медицинской химии РАН, г. Черноголовка
ivtronev@edu.hse.ru

Актуальной проблемой специальной химии был и остается поиск новых компонентов для энергетических конденсированных систем. Большой интерес при этом вызывают полимерные соединения, содержащие энергоемкие функциональные группы. Одним из перспективных соединений такого рода является полнитроксиметилметилоксетан (полиНММО), который в отличие от пластификаторов с низкой молекулярной массой не подвержен эффекту экссудации, что делает материал более безопасным в обращении. Однако, на сегодняшний день, синтез полиНММО не оптимизирован.

Прекурсором для получения полиНММО является динитрат метриола (ДНМ), процесс получения которого в настоящее время представляет наибольшую сложность, т.к. проходит малоселективно с низким выходом продукта и образованием большого количества побочных соединений.

В процессе проведенного исследования были рассмотрены способы повышения содержания ДНМ в продукте. ДНМ можно получать двумя путями: первый путь – прямое нитрование метриола, второй – гидролиз полного нитрата. Изменяя условия проведения процесса (температуру, время синтеза, растворитель, избыток и концентрации компонентов) можно добиться смещения равновесия в сторону получения ДНМ.

Было найдено, что метод нитрования для получения ДНМ имеет ряд ограничений и сложностей. Реакция крайне чувствительна к изменениям параметров процесса, кроме того, при нитровании образуется преимущественно ТНМ, а в случае, когда удастся сместить равновесие в сторону образования ДНМ, образуется большое количество побочных продуктов.

Метод гидролиза ТНМ, на наш взгляд, является более перспективным, поскольку он менее чувствителен к изменениям условий реакции и позволяет получить продукт с большим содержанием ДНМ. В качестве условий для дальнейших исследований процесса оптимизации получения ДНМ, нами предлагается проведение длительной обработки ТНМ 3-кратным избытком $N_2H_4 \cdot H_2O$ в смеси этанол-диоксан (2:1) при температуре кипения растворителя.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ПХФ И МХ РАН 0089-2019-0005 (№ гос.регистрации АААА-А19-119101690058-9).

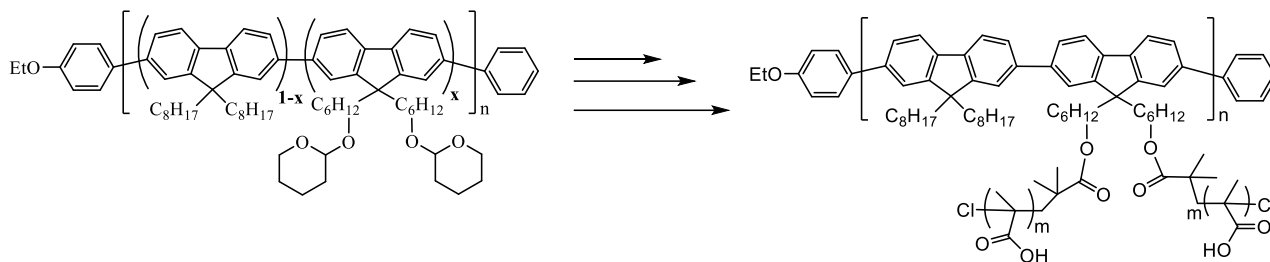
МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ПОЛИФЛУОРЕНОВЫЕ ЩЕТКИ С БОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ ПОЛИМЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

Каскевич К.И., Симонова М.А., Ромашева М.М., Литвинова Л.С., Якиманский А.В.

Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург

Работа посвящена синтезу и исследованию люминесцирующих амфифильных молекулярных щеток (АМЩ) с основной полифлуореновой цепью и боковыми цепями полиметакриловой кислоты. Способность таких систем образовывать мономолекулярные мицеллы может позволить использовать их в таких направлениях, как доставка лекарств и биовизуализация [1].

Ранее были получены такие полимерные щетки с короткой основной полифлуореновой цепью, которые образовывали мономолекулярные мицеллы [2]. Цель работы – получить АМЩ с более длинной основной цепью, изучить их люминесцентные свойства, а также влияние длины основной цепи на самоорганизацию в растворах. Для этого был получен 2,7-дифлуорен с защищенной гидроксильной группой в положении С9, что позволило получить полифлуорен с помощью поликонденсации по Сузуки с более высокими значениями молекулярно-массовых характеристик (ММХ). Далее была проведена модификация полимера с целью получения мультицентрового макроинициатора (ММИ) для дальнейшей полимеризации *трет*-бутилметакрилата по механизму ATRP. Затем для получения итоговых АМЩ был проведен кислотный гидролиз сложноэфирных групп боковых цепей.



В ходе работы были изучены ММХ методами гель-проникающей хроматографии и статического рассеяния света, гидродинамические характеристики, а так же люминесцентные свойства полимеров. Установлено влияние длины основной полифлуореновой цепи на свойства АМЩ в растворах.

Список литературы:

[1] Müllner, M. J. Chem. Commun. **58**, 5683-5716 (2022).

[2] Симонова М.А., Ильгач Д.М., Каскевич К.И., Непомнящая М.И., Литвинова Л.С., Филиппов А.П., Якиманский А.В. Высокомол. соед. Серия С. **64** (2), 206-217 (2022).

1-О-31

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛИ(2-АЛИКЛ-2-ОКСАЗОЛИН)ОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ НЕФТИ

Козина Н.Д., Кирилэ Т.Ю.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
ndkozina@gmail.com*

Одной из основных проблем экологии являются нефтяные разливы, которые разрушают экосистему водоёмов и прибрежных территорий, в том числе песчаных пляжей. Перспективным направлением в отчистки от нефтяных загрязнений является применение термочувствительных поверхностно активных полимерных соединений.[1]

В связи с этим были проведены эксперименты по очистки песка и воды от нефтепродуктов. Возможность использования звездообразных поли(2-алкил-2-осказолин)ов с функциональным каликс[4,8]ареновым ядром для очистки песка была исследована с использованием методов термогравиметрического и люминесцентного анализа на примере песка с пляжа Петропавловской крепости загрязненного нефтью Западно-Сибирского месторождения.

Поли(2-алкил-2-осказолин)ы - амфифильные, биосовместимые и термочувствительные полимеры, были получены методом живой катионной полимеризации с последующим присоединением к макроциклическому ядру. Структура синтезированных полимеров была подтверждена методом ^1H ЯМР спектроскопии.

Показано, что использование полученных полимеров позволяет удалить до 95% загрязнения.

Список литературы:

[1] *Yang B., Duhamel J.* Extraction of Oil from Oil Sands Using Thermoresponsive Polymeric Surfactants. ACS Appl. Mater. Interfaces, **7**, 5879 (2015)

**РАДИКАЛЬНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ
2-МЕТИЛЕН-1,3-ДИОКСЕПАНА**

Алиев Э.Э., Заремский М.Ю., Пуханова Е.В., Зайцев М.О.

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Химический факультет, г. Москва
elvin.aliev.1996@inbox.ru*

Получение биоразлагаемых полимерных материалов становится все более значимым и востребованным. В рамках радикальной полимеризации синтез подобных полимеров заключается в сополимеризации виниловых мономеров с кетенацеталами, однако в научной литературе сведений о радикальной полимеризации таких циклических соединений крайне мало.

В настоящей работе трехстадийным синтезом получен мономер 2-метилен-1,3-диоксепан (МДО). Изучена радикальная полимеризация кетенацетала МДО в массе и растворе бензола при температурах 70 и 125 °С с использованием инициаторов 2,2-азо-бис-изобутиронитрила (ДАК) и ди-трет-бутилпероксида (ДТБП).

Методом спиновых ловушек с использованием ЭПР изучен механизм роста цепи мономера. Доказано, что механизм состоит из двух стадий: на первой стадии происходит присоединение радикала инициатора к мономеру с раскрытием двойной связи и образование циклического радикала, а на второй – непосредственно раскрытие самого цикла. Определены значения константы скорости раскрытия цикла в интервале температур 70-125°С.

С помощью изотермической калориметрии определены теплота полимеризации МДО ($Q = 30100$ кал/моль). Высокое значение Q обусловлено тем, что оно складывается из двух составляющих экзотермических процессов: раскрытие двойной связи мономера и непосредственно раскрытие самого цикла.

С использованием полученного значения Q изучена кинетика полимеризации МДО в различных условиях. Показано, что реакция характеризуется высоким порядком скорости по мономеру ($n > 1,5$). Это обусловлено тем, что скорость инициирования лимитируется скоростью присоединения радикала инициатора к МДО. Энергия активации полимеризации составляет 136 кДж/моль.

Сочетанием методов изотермической калориметрии и ЭПР показано, что при введении в полимеризат нитроксила происходит либо полное ингибирование реакции, что наблюдается при соотношении $[TEMPO]/[Инициатор] \geq 1$, либо полимеризация идет после падения концентрации свободного нитроксила до нулевого значения при условии $[TEMPO]/[Инициатор] < 1$.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (№ 23-23-00147)

ВЛИЯНИЕ ВИХРЕВОГО ТЕЧЕНИЯ НА СВОБОДНО-РАДИКАЛЬНУЮ ПОЛИМЕРИЗАЦИЮ ВНУТРИ МИКРОКАПЛИ ПРИ ИНИЦИИРОВАНИИ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ФАЗ

Рощин Д.Е., Патлажан С.А.

*Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова
Российской Академии Наук
roschin.d.e@mail.ru*

В связи с активным развитием микрофлюидики в последние годы широкое распространение получили методы синтеза полимерных микрочастиц с использованием микрожидкостных технологий [1]. В случае, когда инициатор находится в дисперсионной среде, существенное влияние на кинетику полимеризации и свойства получаемых полимеров могут оказывать такие факторы, как размер капли и концентрация инициатора в окружающей среде [2]. При течении капли в микроканале следует принимать во внимание скорость обтекающей жидкости, поскольку в микрокапле формируются вихревые течения, которые также могут оказывать существенное влияние на распределение в ней образующихся радикалов. Целью данной работы было установление взаимосвязи между кинетическими закономерностями радикальной полимеризации в микрокапле мономера с интенсивностью вихревого течения, формирующегося при обтекании капли несовместимой с ней внешней средой, содержащей молекулы инициатора.

Даная задача решалась численно путем решения уравнений переноса с учетом диффузии мономера, радикалов и мертвых цепей. Свободно-радикальная полимеризация моделировалась с использованием обобщенного метода моментов [2]. Система дифференциальных уравнений решалась на базе вычислительной платформы OpenFoam методом конечных объемов [3]. В результате, была получена зависимость эффективной константы скорости свободно-радикальной полимеризации от числа Пекле для капель различного радиуса. В частности, показано, что вихревое течение в микрокапле приводит к изменению критического радиуса, соответствующего переходу от кинетического к диффузионному режиму полимеризации [2]. Помимо кинетических закономерностей исследовано также влияние конвективного переноса на молекулярно-массовые характеристики формирующегося полимера.

Список литературы:

- [1] Kumacheva E., Garstecki P. Microfluidic Reactors for Polymer Particles. Willey, 2011.
- [2] Roshchin D. E., Patlazhan S. A., Berlin A. A. Eur. Polym. J. **190**, 112002 (2023).
- [3] Weller H., Tabor G., Jasak H., Fureby C. Comput. Fluids **12** (6), 620-631 (1998).

Благодарности

*Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и образования РФ
FFZE -2022-0010*

СОПОЛИМЕРЫ ФЛУОРЕНА И ДИКАРБОНИТРИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ СТИЛЬБЕНА И ФЕНАНТРЕНА, ИХ ФОТО- И ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА

Якиманский А.А.¹, Каскевич К.И.¹, Чулкова Т.Г.¹, Жданов А.П.², Лыпенко Д.А.³, Якиманский А.В.¹

¹Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

²Институт общей и неорганической химии имени Н. С. Курнакова РАН, Москва

³Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина, Москва

yakimanskii@gmail.com

Среди π -сопряженных полимеров, значительное внимание привлекают сополифлуорены. В их состав можно вводить фрагменты, обладающие донорно-акцепторными свойствами, способствующие переносу заряда и готовые к дальнейшей модификации [1]. Тонкая настройка параметров полимера важна при создании ОСИД, в чувствительных хемосенсорах, влияет на цветность и интенсивность люминесценции. В частности, дикарбонитрильные производные стильбена и фенантрена проявляют интересные люминесцентные в твердом виде [2,3]. Включение фрагментов, содержащих нитрильные группы, в полимерную цепь также позволит модифицировать ее, например, при взаимодействии с кластерами бора.

Мы получили серию сопряженных полимеров 9,9-диоктилфлуорена используя реакцию поликонденсации по Сузуки (рис. 1) и изучили влияние количества введенных дикарбонитрильных производных на физико-химические характеристики сополимеров, на их фото- и электролюминесцентные свойства.

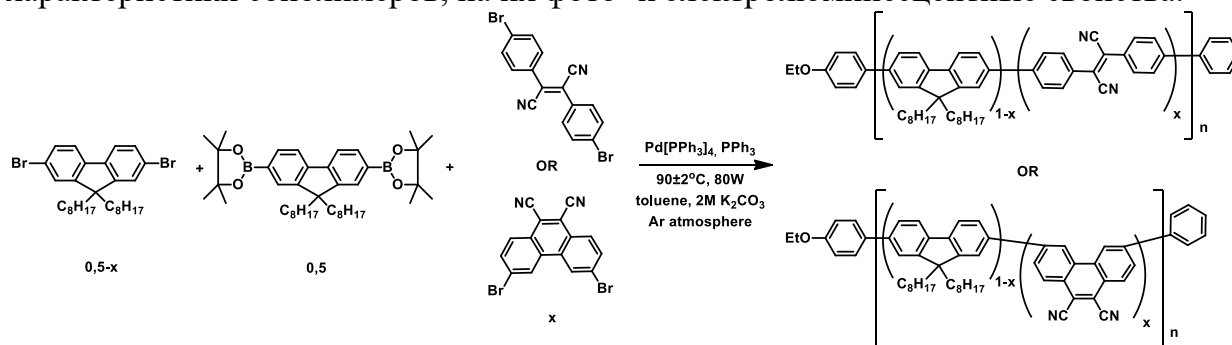


Рис. 1 - Схема реакции поликонденсации по Сузуки.

Список литературы:

[1] Nosova G.I., Lypenko D.A., Smyslov R.Y., Zhukova E.V., Berezin I.A., Litvinova L.S., Maltsev E.I., Yakimansky A.V. *Polymer (Guildf)*. **210**, 122978 (2020).

[2] Afanasenko A.M., Novikov A.S., Chulkova T.G., Grigoriev Y.M., Kolesnikov I.E., Selivanov S.I., Starova G.L., Zolotarev A.A., Vereshchagin A.N., Elinson M.N. *J. Mol. Struct.* **1199**, 126789 (2020).

[3] Afanasenko A.M., Krutin D.V., Taishev A.E., Novikov A.S., Chulkova T.G., Kolesnikov I.E., Korniyakov I.V., Panikorovskii T.L., Vereshchagin A.N., Elinson M.N. *J. Mol. Struct.* **1248**, 131503 (2022).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 23-43-00060).

ФОТОИНИЦИИРУЕМАЯ В ДИАПАЗОНЕ ВИДИМОГО СВЕТА КАТИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ИЗОБУТИЛЕНА

Трофимук Д.В.^{1,2}, Гульник М.И.¹, Костюк С.В.^{1,2}

¹Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета, г. Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

Использование фотокатализа в области синтеза полимеров является новым и интенсивно развивающимся направлением исследований в последние десятилетия [1]. Несмотря на большое разнообразие известных фотокаталитических систем, сегодняшние достижения фотоинициируемой/фотоконтролируемой катионной полимеризации ограничиваются использованием только высоко реакционноспособных мономеров, таких как виниловые эфиры или *n*-метоксистирол [2]. Данная работа посвящена инициируемой в диапазоне видимого света катионной полимеризации изобутилена в присутствии фотоинициирующей системы на основе карбонила марганца ($\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}$) и соли дифенилиодония ($\text{Ph}_2\text{I}^+\text{PF}_6^-$) [3]. Было показано, что инициирование полимеризации происходит за счёт хлорметилизобутильных карбокатионов, генерируемых в результате окисления солью дифенилиодония соответствующих третичных радикалов. Последние образуются в ходе мономолекулярного присоединения изобутилена к хлорметилловым радикалам ($\cdot\text{CH}_2\text{Cl}$), являющихся продуктом отщепления атома хлора от молекул растворителя (CH_2Cl_2) активными радикалами пентакарбонила марганца ($\cdot\text{Mn}(\text{CO})_5$), получаемым в результате гомолиза $\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}$ под воздействием синего света (схема 1).

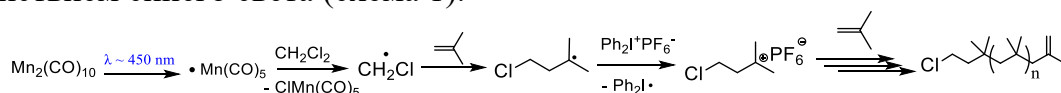


Схема 1 - Механизм фотоинициируемой катионной полимеризации изобутилена.

Было установлено, что фотоинициируемая катионная полимеризация изобутилена с контролируемой передачей цепи протекает при -30°C в среде смешанного растворителя $\text{CH}_2\text{Cl}_2/n$ -гексане с образованием низкомолекулярного полиизобутилена с относительно низким показателем полидисперсности ($M_n = 2000-3000$ г/моль, $\text{Đ} < 1.7$) и высоким содержанием экзо-олефиновых концевых групп (85-93%). Молекулярная масса полиизобутилена легко варьируется в широком диапазоне молекулярных масс (от 2000 до 12000 г/моль) за счет изменения концентрации окислительного агента.

Список литературы: [1] Aydogan, C.; Yilmaz, G.; Shegiwal, A.; Haddleton, D. M.; Yagci, Y. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2022, 61, e202117377; [2] Sifri, R.J.; Ma, Y.; Fors, B.P. *Acc. Chem. Res.*, 2022, 55, 1960; [3] Hulnik, M.; Trofimuk, D.; Nikishau, P.A.; Kiliclar, H.C.; Kiskan, B.; Kostjuk, S.V. *ACS Macro Lett.*, 2023, 12, 1125.

Благодарности Работа выполнена в рамках государственной программы научных исследований «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия», подпрограмма «Химические технологии, процессы и реагенты» (проект 2.1.01.03), а также совместного проекта Беларуси и Турции БРФФИ-ТЮБИТАК (№ X21ТЮБ-008).

**МЕЗОМОРФИЗМ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОЛИГОМЕРОВ.
СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

Горбачев С.А.^{1,2}, Зуев В.В.¹

¹*Национальный исследовательский Университет ИТМО, Санкт-Петербург*

²*Военно-медицинская академии им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург*
stas89755@mail.ru

В настоящий момент большой интерес в использовании жидкокристаллических (ЖК) олигомеров основан в создании перспективных материалов с уникальными свойствами. Важной задачей в области синтеза ЖК соединений является разработка новых подходов и методов синтеза, что позволяет получать соединения с разнообразной архитектурой и богатой фазовой природой. Таким подходом самоорганизации ЖК состояния является формирование сетки межцепных водородных связей [1].

В данной работе был получен набор ЖК-олигомеров моделирующих ЖК-полимеры полученных из 1,6-гексаметилендиизоцианата и их двух- или тримеров (уретдиона, биурета или изоцианурата) и ω -гидроксиалкилированных цианобифенилов. Разработана методика синтеза ЖК-олигомеров в мягких условиях и без сложной процедуры очистки с количественным выходом, являющийся реализацией методов “click chemistry” для синтеза ЖК соединений [2]. Было установлено, что определяющим фактором в формировании ЖК состояния и смектического мезоморфизма у соединений с таким потенциально «слабым» мезогеном как бифенил является формирование межмолекулярных водородных связей. Формирование межцепных водородных связей приводит к значительной стабилизации ЖК состояния и образованию богатой мезоморфной структуры.

Список литературы:

[1] *Lugger S. J.D., Houben S.J.A., Foelen Y., Michael G. Debije M.G., Schenning A.P.H.J., Mulder D.J.* Hydrogen-bonded s liquid crystal polymers: smartmaterials with stimuli-responsive, self-healing, and recyclable properties. *Chem.Rev.* **121**, (2021).

[2] *Zuev V.V., Gorbachev S., Ostanin S.A., Pikhurov D.V.* Liquid crystalline oligomers with a central core unit containing urethane groups. *Liquid Crystals.* (2022).

МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В РЕАКЦИЯХ КОНВЕРСИИ CO₂

Головачева А.А.^{1,2}, Казарина О.В.^{1,2}

¹Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
г. Нижний Новгород

²Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева,
г. Москва
a.golovachiova@yandex.ru

Технологии улавливание и преобразование CO₂ в продукты с добавленной стоимостью становятся все более необходимыми как для борьбы с парниковыми газами, так и для использования CO₂ в качестве богатого ресурса углерода C₁. В этом контексте, одной из наиболее перспективных стратегий является получение циклических карбонатов (ЦК) путем циклоприсоединения CO₂ к эпоксидам (рис. 1).

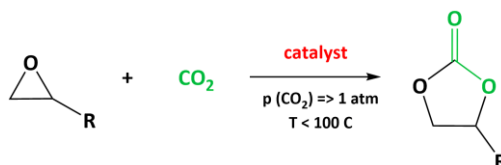


Рис. 1. Реакция синтеза ЦК путем циклоприсоединения
CO₂ к оксидам олефинов.

Термодинамическая стабильность и инертность молекулы CO₂ осложняют ее активацию и внедрение в органические молекулы. Для решения данной проблемы были разработаны эффективные катализаторы – высокопористые соединения на основе полимерных ионных жидкостей (ПИЖ), позволяющие получать ЦК в мягких условиях ($p(\text{CO}_2) = 1 \text{ атм}$, $T < 70 \text{ }^\circ\text{C}$) без использования сокатализаторов, металлов и растворителей. Катализаторы получены путем простой радикальной полимеризации мономеров ионных жидкостей (ИЖ) с использованием сшивающего агента – дивинилбензола. Мономеры ИЖ на основе четвертичной соли аммония и имидазола с различными противоионами и функциональными группами были получены атом-экономичным путем по реакции алкилирования. Большая удельная площадь поверхности и пористость высокомолекулярного катализатора обеспечивают высокую эффективность в улавливании CO₂, в то время как ионные фрагменты участвуют в активации и преобразовании CO₂. Каталитическая активность полимеров оценивалась на типовой реакции циклоприсоединения CO₂ к эпихлоргидрину. Выход продукта составил более 98% с селективностью более 99,9% был получен в мягких условиях реакции (атмосферное давление CO₂ и температура ниже 70 °C) менее, чем за 10 ч.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ ВОЛОКНО-ГЕТЕРОГЕННАЯ МАТРИЦА И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЧНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Черевинский А.П., Шапагин А.В.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина
Российской академии наук
Cherevinskiy@mail.ru*

С целью улучшения физико-механических свойств композиционных материалов широко используют физическую модификацию реактопластичных систем мелкодисперсными наполнителями и жесткоцепными термопластами. При формировании пространственной сетки химических связей в процессе отверждения таких систем формируется гетерогенная фазовая структура, имеющая градиент концентрации модификатора вблизи армирующего наполнителя, образуя межфазную переходную зону. Переходная зона, полученная в результате формирования фазовой структуры из расплава полимеров практически не изучена. Получены образцы углеродное, стеклянное и арамидное моноволокно в отвержденной диаминодифенилсульфоном эпоксидной матрице, модифицированной термопластом (полисульфоном ПСК-1) в широком диапазоне концентраций модификатора (от 5 до 40 масс%. по отношению к эпоксидному олигомеру). Методом электронной микроскопии исследована фазовая структура в межволоконном пространстве. Методом рентгеноспектрального микроанализа по К α -линии серы построены концентрационные профили вблизи моноволокон. На основании полученных данных показано различие в типах фазовых структур при формировании переходных зон, контактирующих с моноволоконными. Методом оптической микроскопии получены *in situ* данные о формировании фазовой структуры и образовании переходной зоны на границе с моноволоконным. На устройстве Drop-Sting test [1] сформированы образцы, моделирующие элементарную ячейку волокнистых ПКМ для проведения адгезионных исследований в системе углеродное моноволокно – гетерогенное эпоксиполисульфоное связующее.

Обнаружена переходная зона, обогащенная эпоксидом, в области концентраций модификатора более 10 масс% при формировании в системе структуры типа взаимопроникающие фазы. Протяженность переходной зоны составляет от 1 до 2 мкм от поверхности волокна и не зависит от типа волокнистого наполнителя. Установлено, что при введении модификатора более 30 масс% и формировании в системе структуры типа матрица-дисперсия с непрерывной фазой, обогащенной термопластом, межфазная прочность на границе моноволокно – матрица увеличивается.

Список литературы:

[1] Шапагин А.В., Черевинский А. П., Потеряев А.А., Будылин Н.Ю. Патент РФ №2020143122, 25.12.2020. // Патент России №2750491. 2021. Бюл. №19.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (номер проекта 122011300053-8).

МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИУРЕТАНОВ ЛЕСТНИЧНЫМИ ПОЛИСИЛОКСАНАМИ

Лобановская Е.К., Зуев В.В.

*Национальный исследовательский университет ИТМО
katya120500@mail.ru*

Развитие передовых материалов, адаптированных к применению в агрессивных средах, приводит к появлению новых требований к получению материалов с трудно сочетаемыми свойствами. Например, полимерные покрытия должны иметь высокую адгезию к подложке, обладая при этом антивандальными, противообрастающими свойствами в комбинации с высокими механическими характеристиками [1]. Решить эту сложную задачу можно путем использования комбинации структурных элементов с ярко выраженными желаемыми характеристиками для достижения синергетического эффекта [2,3]. Ортогональность в свойствах компонентов делает конструирование желаемого материала сложной задачей, так как совместимость исходных реагентов и формирование надмолекулярной структуры продукта зависят от многих факторов, включая термодинамические, молекулярную подвижность субъединиц и многих других [3]. Поэтому поиск нового молекулярного дизайна современных полимерных материалов требует сочетания исследований с использованием современных химических и физических методов.

В данной работе описан синтез мультимодуль-сополимеров на базе лестничных полифенилсилоксанов [2,3] в комбинации с полиуретановым преполимером на базе 4,4'-метиленидифенилдиизоцианата и полиэтиленоксидного полиола. Исследованы механические и антивандальные свойства полученных мультимодуль-сополимеров. Показано, что увеличение массовой доли лестничного компонента ведет к росту механических характеристик и угла смачивания полученных сополимеров. Методами твердотельной ЯМР спектроскопии показана связь молекулярной подвижности в полученных сополимерах с их механическими свойствами.

Список литературы:

- [1] *Fabiula D. B. de Sousa*. From Devulcanization to Revulcanization: Challenges in Getting Recycled Tire Rubber for Technical Applications. ACS Sustainable Chem. Eng., 8755- 8765 (2019).
- [2] *Guido Kickelbick*. Silsesquioxanes. Functional Molecular Silicon Compounds V, 155 (2013).
- [3] *Ostanin S.A., Kalinin A.V., Bratsyhin Y.Y., Saprykina N.N., Zuev V.V.* Linear/Ladder-Like Polysiloxane Block Copolymers with Methyl-, Trifluoropropyl- and Phenyl-Siloxane Units for Surface Modification. Polymers, 2063 (2021).

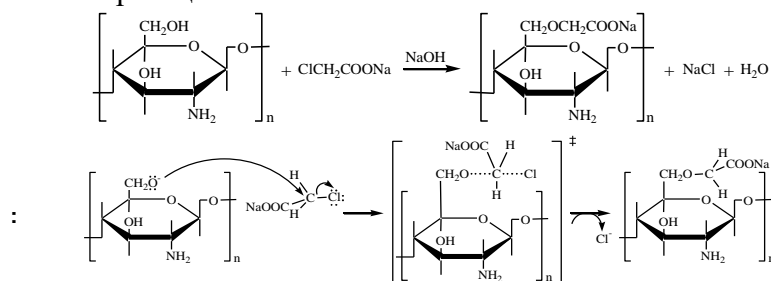
ПОЛУЧЕНИЕ О-КАРБОКСИМЕТИЛХИТОЗАНА НА ОСНОВЕ ПЧЕЛИНОГО ПОДМОРА *APIS MELLIFERA* И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ДЕЗАЦЕТИЛИРОВАНИЯ

Ихтиярова Г.А.¹, Хайдаров А.А.²

¹Ташкентский государственный технический университет

²Бухарский инженерно-технологический институт

Известно, что хитозан (ХЗ) и его производные широко используются в области медицины, сельского хозяйства и т.п. Особое внимание исследователей привлекают производные ХЗ, в частности, карбоксиметил хитозана (КМХЗ), обладающий высокой биологической активностью, выраженными антибактериальными, антикоагулянтными свойствами [1]. В годы Независимости Республики Узбекистан особое внимание уделяется рациональному, экономически выгодному использованию природных ресурсов, в частности созданию и использованию водорастворимых биоразлагаемых препаратов. Карбоксиметилхитозан синтезированный из подмора пчёл *Apis Mellifera* - являются наиболее распространёнными биологически активными полимерами. Благодаря своей высокой биологической активности эти биополимеры активно внедряются в различные сферы жизнедеятельности человека. В связи с этим путем экспериментального подбора оптимальной концентрации раствора NaOH, проведено изучение влияния концентрации NaOH на молекулярную массу хитозана. Молекулярные массы хитозана определены по данным характеристической вязкости. КМХЗ получают карбоксиметилированием гидроксильных и аминных групп хитозана. Согласно экспериментальным данным по карбоксиметилированию хитозана предложен возможный следующий механизм реакции:



Следует особо обратить внимание на то, что образцы после проведения реакции карбоксиметилирования хитозана растворяются в воде, тогда как исходный хитозан в воде нерастворим. Это является следствием введения гидрофильных карбоксиметильных групп, что еще раз подтверждает факт образования КМХЗ. Присутствие карбоксильных групп в структуре КМХЗ придаёт вязкость, хорошее влагоудерживающее, мембранообразующее, флокулирующее, хелатирующее и сорбционное свойство. Впервые изучен механизм реакции О-карбоксиметилирования хитозана путем изучения фазового и электронного строения *Apis Mellifera* КМХЗ на основе молекулярного моделирования в программе Nupur Chem 8.0. Кондуктометрическим методом определили степень обмена водорастворимого О-карбоксиметилхитозана, полученного на основе хитозана *Apis Mellifera*, вискозиметрическим методом - молекулярно-массовые свойства полимера. Таким образом, синтезированный карбоксиметилхитозан обладает пленкообразующим и загущающим а также бактерицидными свойствами и они биоразлагаемые биополимеры, которые представляют собой полиэлектролит. **Список литературы:** [1] *Anitha A., Maya S., Deepa N. et al. Carbohydrate Polymers, vol. 83, no. 2, 452–461 (2011).*

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПОЛИНИКЕЛЬ- И ПОЛИКОБАЛЬТФЕНИЛСИЛОКСАНОВ

Либанов В.В., Капустина А.А., Шапкин Н.П., Пуничев Е.Е.

*Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток
libanov.vv@dvfu.ru*

В работе проведены механохимические синтезы на основе полифенилсилсесквиоксана (ПФССО) и тетрамерных бис-ацетилацетонатов никеля (II) и кобальта (II), а также мономерного трис-(ацетилацетоната) кобальта (III). Синтезы проводили в планетарной мономельнице «Pulverisette 6» при 600 оборотах в минуту в течение 3 минут. Исходное соотношение Si/M во всех синтезах составляло 1:1.

Показано, что в результате активации бис-(ацетилацетоната) никеля 22.25% исходного комплекса подвергается полимеризации с образованием собственного координационного полимера. Активация бис-(ацетилацетоната) кобальта приводит к уменьшению его степени ассоциации (с тетрамера до тримера).

При совместной активации ПФССО и бис-ацетилацетоната никеля образуется неподдающаяся разделению смесь полиникельфенилсилоксана и полимеризованного комплекса никеля. После трех минут совместной активации ПФССО и бис-ацетилацетоната кобальта (II) выделен поликобальтфенилсилоксан с соотношением Si/Co отличающимся от заданного и равным 4.75. Методом РФЭС установлено, что вхождение атома кобальта в силоксановую цепь сопровождалось изменением его степени окисления. Соотношение Co^{3+}/Co^{2+} в полученном полимере составило 40/60 (в процентах). Нерастворимой фракцией данного синтеза являлся координационный полимер, в котором атом кобальта также имел различные степени окисления, однако, соотношение Co^{3+}/Co^{2+} составляло 60/40.

Как и в случае с бис-ацетилацетонатом никеля, активация ПФССО и трис-ацетилацетоната кобальта (III) приводило к образованию смеси высокомолекулярных продуктов, состоящей из поликобальт(III)фенилсилоксана и полимеризованного комплекса кобальта (III).

В работе подтверждается тенденция к образованию собственных координационных полимеров, характерных для элементоорганических соединений переходных металлов [например, 1]. Введение в систему лигандов, заполняющих вакантные орбитали гетероатома и препятствующих полимеризации исходных комплексов, приводило к потере их реакционной способности.

Термогравиметрическим анализом установлено, что термическая устойчивость и устойчивость к окислению полученных высокомолекулярных соединений меньше, чем исходного кремнийорганического производного.

Список литературы:

[1] Libanov V., Kapustina A., Shapkin N., Tarabanova A., Rumina A. Powders **2** (2), 445 (2023).

СЕКЦИЯ 1
СИНТЕЗ И МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ПЛЕНОК, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЕРМОХРОМНЫМ ЛЕЙКОКРАСИТЕЛЕМ

Бакаева М.А., Сашина Е.С., Хандобина К.М.

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий
и дизайна, институт прикладной химии и экологии,
г. Санкт-Петербург
masha_569@mail.ru*

Включение термохромных индикаторов в полимерную матрицу является одной из современных задач при производстве «умного» текстиля. Наличие термохромных индикаторов позволит производить униформу для пожарных, меняющую цвет при критических температурах; детскую одежду с индикатором температуры тела и многое другое. В отличие от минеральных красителей, которые можно использовать без предварительной обработки, органические красители склонны к окислению, поэтому их необходимо заключать в оболочку для исключения воздействия внешней среды [1].

Возможным решением данной задачи может являться включение термохромного красителя в целлюлозную матрицу при формовании из растворов древесной целлюлозы в ионной жидкости. В качестве ионного растворителя использовался ацетат 1-бутил-3-метилимидазолия. В качестве термохромного красителя использовали черный Thermochrome Black TH-30 с обратимым фазовым переходом "черный – бесцветный" при 28...30°C. Координаты цвета готовых образцов получали в системе CIE L*a*b* на спек- трокolorиметре X-rite RM200QC (D65).

В результате проделанной работы были получены целлюлозные пленки, проявляющие термохромный эффект при температурах от 28°C до полного обесцвечивания красителя с последующем появлением окраски при понижении температуры. Интенсивность окрашивания усиливалась с увеличением содержания в пленках красителя от 5 до 10 масс.%

Степень упорядоченности целлюлозы при добавлении термохромного соединения на стадии формования остается неизменной [2].

Список литературы:

[1] *Karpagam K.R., Saranya K.S., Gopinathan J., Bhattacharya A.* Journal of the Textile Institute **1**, 1, (2016).

[2] *Сашина Е.С., Беклямишев М.О.* Технология текстильной промышленности **5** (401), 134 (2022).

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЯ СИНТЕЗА НЕОРГАНИЧЕСКОГО ПОЛИСИЛАЗАНА НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ НЕГО ПЛЕНОК ОКСИДА КРЕМНИЯ

Барышева А.В., Суворов С.С., Воротынцев А.В.

*Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского,
г. Нижний Новгород
alex.barysheva@yandex.ru*

Неорганический полисилазан – это полимер, содержащий в главной цепи чередующиеся атомы кремния и азота. Это полимер-прекурсор для получения керамики из оксида, нитрида или оксинитрида кремния. Полученные из полисилазана пленки обладают твердостью 9Н, превосходной адгезией, устойчивостью к высоким температурам и истиранию, кислотостойкостью и устойчивостью к влиянию атмосферного воздуха. Сочетание адгезионных свойств с возможностью нанесения тонких покрытий, делает полисилазан перспективным материалом для микроэлектроники, автомобильной и авиационной промышленности. В последние годы возрос интерес к полисилазану как к материалу для инкапсуляции гибких органических солнечных батарей, за счет возможности проведения процесса низкотемпературного УФ-индуцированного отверждения, а также как материала для многослойных антиотражающих покрытий.

Строение цепи неорганического полисилазана влияет на его свойства. В зависимости от отношения содержания кремния к азоту Si:N в цепи олигомера меняется степень разветвленности цепи, и как следствие – величина усадки пленки при полимеризации. Минимальное значение усадки имеет неорганический полисилазан с разветвленной структурой, в котором отношение Si:N близко к 3. В данной работе экспериментально исследовано влияние параметров процесса (температура, концентрация реагентов в реакционной смеси и скорость прибавления аммиака в зону реакции) на структуру полимерной цепи.

В ИК-спектре образца, полученного при максимальном расходе аммиака в реакции аммонолиза дихлорсилана ($4 \text{ г} \cdot \text{мин}^{-1}$), регистрируется область, соответствующая поглощению связей N—H (3380 см^{-1}). В ИК-спектре образца, полученного с минимальным расходом аммиака ($0.5 \text{ г} \cdot \text{мин}^{-1}$), эта область практически не фиксируется. Наблюдаемый эффект можно объяснить тем, что при малом расходе аммиака в реакционной зоне возникает избыток дихлорсилана, который приводит к протеканию аммонолиза с образованием разветвленных цепей путем замены связей N—H на N—Si [1].

Список литературы:

[1] *Barysheva A., Mochalov G., Suvorov S.* Russian Journal of Applied Chemistry. **94**, 1226-1231 (2021).

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЛАКТИДА В ПРИСУТСТВИИ 2,5-ДИГИДРОКСИБЕНЗОХИНОНА-1,4 И АЦЕТАТА НАТРИЯ

Бобрина Е.В., Лудин Д.В.

*Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина,
г. Нижний Новгород,
CatherineBobrina@gmail.com*

Настоящая работа посвящена исследованию процесса полимеризации лактида в присутствии 2,5-дигидроксибензохинона-1,4 (ДГБХ) и ацетата натрия (AcONa). Атомы водорода при гидроксильных группах в молекуле ДГБХ подвижны, что способствует быстрому иницированию, а как известно, в условиях, когда $k_i \gg k_p$, возможно протекание живой анионной полимеризации. Установлено, что процесс протекает с умеренной скоростью и приводит к образованию полимера с узким молекулярно-массовым распределением. Достижимые значения M_n согласуются с расчетными данными. Показано, что увеличение температуры приводит к увеличению скорости полимеризации, но негативно сказывается на молекулярно-массовых характеристиках.

Получаемый в результате данного синтеза полилактид имеет в своём составе интернальное звено ДГБХ, которое может быть использовано для дальнейшей модификации полимера путём блок-сополимеризации. По данным УФ-спектроскопии определено, что встраивание ДГБХ в полимерную цепь не сопровождается перестроением хиноидной структуры. Результаты ЯМР-мониторинга полимеризации подтвердили, что хиноидный фрагмент является интернальным. Детальное изучение структуры полилактида методом MALDI-TOF MS показало, что на глубоких степенях превращения имеет место альтернативный способ иницирования, несвязанный с участием ДГБХ. Однако, проявляется он лишь на глубоких конверсиях и не оказывает влияния на ширину молекулярно-массового распределения. Оценка цитотоксичности образцов полилактида с помощью МТТ-теста показала, что полученный полилактид не обладает цитотоксичностью.

Синтезированный полилактид-макрохинон был использован для получения гибридных сополимеров со стиролом в присутствии трибутилборана. Процесс полимеризации протекает в контролируемом режиме, анализ состава показал равномерное обогащение сополимера звеньями стирола.

Таким образом, в работе предложен способ получения полилактида с четкими молекулярно-массовыми характеристиками под действием доступного и нетоксичного катализатора (AcONa), и способ его модификации путем гибридной сополимеризации.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства Просвещения РФ (№ 073-00034-23-00).

ПОЛУЧЕНИЕ МАЛОЭМУЛЬГАТОРНЫХ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ ЛАТЕКСОВ

Боголепова О.В.^{1,2}, Гринфельд Е.А.¹, Седых В.А.²

¹*Воронежский филиал научно-исследовательского института синтетического каучука им. академика С.В. Лебедева, г. Воронеж*

²*Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж*

helgabogolepowa@rambler.ru

Получение и изучение ряда закономерностей синтеза новых хлорсодержащих полимерных дисперсий является актуальной задачей в развитии независимого промышленного потенциала России. Винилиденхлорид является перспективным мономером, так как его сополимеры с другими мономерами обладают ценными свойствами (огне-, тепло-, бензо-, маслостойкость и другие) и сферы их применения охватывают производства искусственной кожи, пищевых упаковочных материалов, пропитки бумаги и картона, клеевых составов и т.д. [1]. Ранее сотрудниками были получены и исследованы латексы тройных и четверных сополимеров винилиденхлорида с мономерами диенового ряда [2]. На данном этапе исследований разрабатывается технология получения латексов безэмульгаторной затравочной сополимеризацией на высококарбоксилированных затравочных частицах, в полимере латекса которых содержится повышенное количество связанного винилиденхлорида (25-30%). Изучалась кинетика сополимеризации винилиденхлорида с другими мономерами в эмульсии при высокой степени превращения (90-100%). Сополимеризация проводилась в две стадии с использованием окислительно-восстановительной иницирующей системы и последующей дополимеризацией остаточных продуктов реакции. Прирост конверсии мономеров контролировался по сухому остатку. Основные коллоидно-химические и реологические свойства латексов оценивали согласно ГОСТ. Средний размер частиц латексов определялся методом динамического светорассеяния (DLS) при помощи анализатора Zetasizer Nano производства Malvern instruments. Содержание связанного винилиденхлорида определяли двумя методами: 1 – сжигание навески полимера в атмосфере кислорода с дальнейшим поглощением продуктов сгорания пероксидом водорода и последующим титрованием; 2 – сплавление навески каучука с окислительной смесью и последующим определением хлорид-ионов титрованием.

Список литературы:

[1] *Wessling R.A., Gibbs D.S., DeLassus P.T., Obi B.E., Howell B.A. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical (2000).*

[2] *Боголепова О.В., Один А.П., Гринфельд Е.А., Комаров Е.В., Игуменова Т. И. XI Всероссийская конференция с международным участием «Каучук и Резина - 2023: традиции и новации». Москва/Экспоцентр, 54-55 (2023).*

СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ ПЛЁНОК НА ОСНОВЕ СОПОЛИУРЕТАНМОЧЕВИН И ХРИЗОТИЛОВЫХ НАНОТРУБОК

Бугров А.Н.^{1,2}, Красилин А.А.², Васильев Б.В.^{1,2}, Храпова Е.К.², Ваганов Г.В.¹,
Попова Е.Н.¹, Анкудинов А.В.²

¹Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

²Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург
bugrov.an@mail.ru

Нанотрубки хризотила являются многообещающим армирующим материалом, используемым для улучшения механических свойств полимерных композитных пленок. Кроме того, данный наноапполнитель используют для повышения термостойкости, адсорбционных характеристик и других функциональных свойств полимерных матриц за счет структурирования макромолекул, зачастую даже с сохранением высокой пропускающей способности пленок.

В данной работе для улучшения термических, механических и поверхностных свойств полимерных матриц были использованы полученные в гидротермальных условиях нанотрубки $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ с модулем Юнга 200 ГПа. Гидроксогруппы, присутствующие на поверхности гидросиликатных наносвитков использовались как замещающиеся группы для ковалентного присоединения модификатора 3-аминопропилтриэтоксисилана (АПТЭС). АПТЭС применялся для функционализации поверхности нанотрубок аминогруппами с целью обеспечения хорошей межфазной адгезии между ними и полимером, лучшей передачи приложенного механического напряжения от матричного материала к армирующему наполнителю, предотвращения агрегации одномерных частиц хризотила в объеме композитных пленок, а также возможности использования неорганических включений в качестве узлов межмолекулярных сшивок. В качестве полимерной матрицы для получения композитных материалов использовались мультиблочные сополиуретанмочевины (ПУМ) со свойствами термоэластопластов и эластомеров. Для формирования жестких ароматических блоков были выбраны диизоцианаты (2,4-толуилендиизоцианат; 4,4'-метиленидифенилдиизоцианат) в комбинации с диаминами гетероциклической структуры (м-фенилендиамин, 4,4'-бис-(4-аминофеноксидифенилсульфон). В основе гибких сегментов выступал поликапролактон диол с молекулярной массой 2000 Да. Введение гидросиликатных наносвитков, как в нативном виде, так и обработанных АПТЭС в матрицу сегментированных ПУМ осуществлялось в процессе сополиконденсации *in situ*. Содержание хризотилового нанотрубок в ПУМ составляло 1, 5 и 10 масс.%.

Было показано, что нанотрубки в нативном виде способствуют повышению термостойкости мультиблочных ПУМ, причем в большей мере для тех матриц, где содержание доменов жесткой фазы выше. Замечено, что модификация поверхности нанотрубок не сказывается на термической устойчивости, но нивелирует эффект повышения жесткости композитных пленок на основе ПУМ, поскольку силоксановая оболочка обеспечивает лабильность армирующего наполнителя в объеме полимера. При этом в сравнении с композициями ПУМ наполненными нанотрубками с гидрофильной поверхностью происходит снижение модуля упругости на фоне роста относительного удлинения при разрыве.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 19-13-00151.

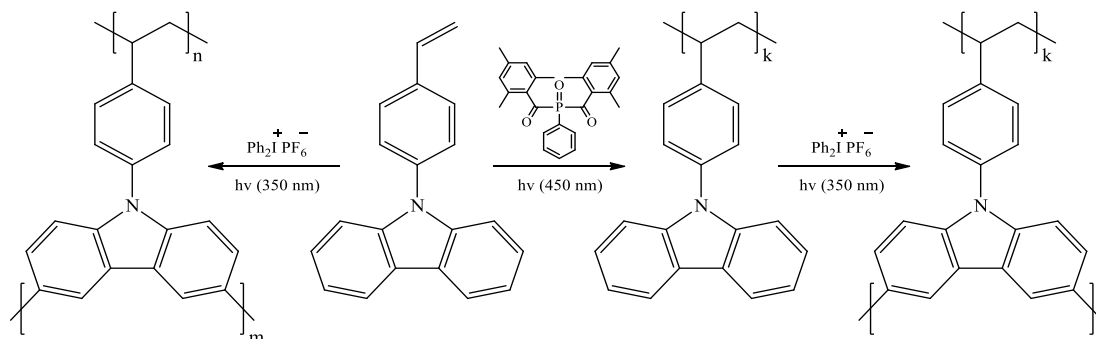
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ И ОДНОВРЕМЕННАЯ ФОТОИНДУЦИРУЕМАЯ РАДИКАЛЬНАЯ И СТУПЕНЧАТАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ 9-(4-ВИНИЛФЕНИЛ)КАРБАЗОЛА

Вайтусёнок А.А.^{1,2}, Белоусов Г.К.^{1,2}, Костюк С.В.^{1,2}

¹Химический факультет, Белорусский государственный университет, г. Минск

²Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета, г. Минск
vaitusionak@bsu.by

Карбазолсодержащие полимеры благодаря их таким полезным свойствам, как перенос заряда и люминесценция находят широкое применение в электрофотографии, в производстве фотоэлектрических устройств и, что наиболее важно, светодиодов [1]. Такие полимеры обычно синтезируют с использованием металлических катализаторов и высоких температур, однако современные тенденции требуют экологически чистых и устойчивых условий получения материалов. В настоящее время фотоиндуцируемая полимеризация считается более выгодной в материаловедении из-за присущих ей преимуществ, включая безопасность, снижение энергопотребления, высокую эффективность при комнатной температуре и др. [2]. В данной работе исследована фотоиндуцируемая последовательная и одновременная свободнорадикальная и ступенчатая полимеризация карбазолсодержащего производного стирола.



При последовательном процессе свободно-радикальная фотополимеризация приводит к образованию линейных полимеров с карбазольными фрагментами в боковой цепи. Плёнки таких полимеров имеют гладкую поверхность вследствие уменьшения кристалличности образца. Последующая ступенчатая полимеризация карбазольных групп в присутствии $\text{Ph}_2\text{I}^+\text{PF}_6^-$ даёт сверхразветвлённые и сшитые полимеры с микросферами на поверхности. Одновременная свободно-радикальная и ступенчатая полимеризация приводит к образованию сшитых полимеров без чётко выраженной структуры поверхности плёнок.

Список литературы:

[1] *Grazulevicius J.V. et al. Prog. Polym. Sci.* **28** (9), 1297-1353 (2003).

[2] *Yagci, Y., Jockusch, S., Turro, N. J. Macromolecules.* **10**, 6245-6260 (2010).

Благодарности

Авторы благодарят ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия», подпрограмма «Химические технологии, процессы и реагенты» (проект 2.1.01.03) за финансовую поддержку.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА И ХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЖЕСТКИХ БЛОКОВ НА ТЕРМИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕГМЕНТНЫХ СОПОЛИУРЕТАНМОЧЕВИН

Васильев Б.В.^{1,2}, Попова Е.Н.¹, Ваганов Г.В.¹, Светличный В.М.¹, Бугров А.Н.^{1,2}

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет,
г. Санкт-Петербург
boris8152@gmail.com*

В данной работе изучалось влияние условий синтеза и химической структуры жестких сегментов на механические, а также термические свойства мультимодальных сополиуретанмочевин (ПУМ). Синтез ПУМ проводился методом поликонденсации в две стадии. Сначала в расплаве концевые группы алифатического диола закрывали диизоцианатом, а затем к образовавшемуся макрономеру порционно или целиком добавляли предварительно растворенный в диметилформамиде диамин в качестве удлинителя цепи. Для формирования жестких блоков были использованы 4,4'-метиленидифенилдиизоцианат (МДИ) и 2,4-толуиленидиизоцианат (ТДИ) в комбинации с диаминами гетероциклической структуры (м-фенилендиамин (мФДА), 4,4'-бис-(4-аминофеноксидифенилсульфон (СОД)). Гибкие алифатические блоки формировались из поликапролактон диола с молекулярной массой 2 кДа. Химическая структура всех полученных составов ПУМ была подтверждена методами ИК и ЯМР-спектроскопии. Температуры стеклования, плавления и кристаллизации полученных материалов были определены с помощью метода ДСК. Механические свойства ПУМ были измерены в режиме одноосного растяжения.

Было установлено, что порционное добавление удлинителя цепи приводит к увеличению модуля упругости синтезированных пленок ПУМ на фоне снижения их прочности при разрыве и относительной деформации. Кроме того, у них появляется предел текучести характерный для термопластичных материалов, чего у ПУМ, сформированных при разовом добавлении всей навески диамина к макродиизоцианату не фиксировалось. Было замечено, что поэтапное удаление растворителя, согласно режиму 80°C в течение 20 часов и 100°C, 120°C, 140°C, 150°C по 1 часу, в отличие от изотермической выдержки при 100°C на протяжении суток приводит к более эффективному удалению растворителя из пленок ПУМ и способствует повышению их механических характеристик. Установлено, что увеличение доли жестких блоков в структуре ПУМ за счет использования в качестве удлинителей цепи более длинных ароматических диаминов приводит к повышению жесткости и прочности пленок, а также снижению относительного удлинения при разрыве. Отмечено, что размораживание сегментальной подвижности происходит при более низких температурах для составов ПУМ на основе мФДА по сравнению с аналогичными системами с СОД в качестве удлинителя цепи. Кроме того, поскольку более массивный диамин в сочетании с диизоцианатом ограничивает подвижность гибких блоков ПКЛ в плечах ПУМ на кривых ДСК составов (ТДИ-2000ПКЛ-ТДИ)СОД и (МДИ-2000ПКЛ-МДИ)СОД фазовых переходов не наблюдается.

РН-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ АГЕНТЫ ОБРАТИМОЙ ПЕРЕДАЧИ ЦЕПИ В КОНТРОЛИРУЕМОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ВИНИЛОВЫХ МОНОМЕРОВ

Власов А.М., Григорьева А.О., Зайцев С.Д.

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н. И. Лобачевского, г. Нижний Новгород
Eviliys5702@gmail.com*

«Псевдоживая» радикальная полимеризация с обратимой передачей цепи (ОПЦ) с момента ее открытия в конце 20 века показала себя как простой в исполнении и универсальный метод контролируемой радикальной полимеризации [1]. Полимеризация в присутствии агентов ОПЦ активно изучается в последние десятилетия, однако существующие агенты зачастую узкоспециализированы для работы с определенным кругом мономеров и ограничены в возможностях синтеза сложных макромолекулярных архитектур. Возможным решением данной задачи может стать использование рН-чувствительных агентов обратимой передачи цепи, способных изменять свою активность под воздействием рН среды [2,3].

В работе был впервые проведен синтез рН-чувствительных агентов ОПЦ 1-циано-1-метилэтил(фенил)(пиридин-4-ил)-карбамодитионата (ЦМПК) и 1-циано-1-метилэтил(4-метоксифенил)(пиридин-4-ил)-карбамодитионата (ЦМПКМ) и было исследовано их влияние в различных концентрациях на радикальную полимеризацию стирола, винилацетата, метилакрилата и метилметакрилата, а также показана их различная эффективность в нейтральной и протонированной формах.

Полученные агенты ОПЦ во взятых концентрациях в гомополимеризации стирола, винилацетата и метилакрилата обеспечивают низкое значение дисперсности полимеров и обеспечивают линейный рост молекулярной массы с конверсией. Полимеризация метилметакрилата в присутствии ЦМПК и ЦМПКМ не показала признаков контролируемого процесса. Показано влияние концентрации и формы агента на кинетику полимеризации и молекулярно-массовые характеристики образцов: в гомополимеризации стирола и метилакрилата лучшие результаты показала протонированная форма агентов, в случае винилацетата – нейтральная форма. Полимерный ОПЦ агент ПСт-ЦМПК показал себя как эффективный полимерный агент и позволил синтезировать блок-сополимер стирола и винилацетата со значениями дисперсности <1.2.

Список литературы:

- [1] *Chernikova, E. V., Sivtsov, E. V. Polymer Science, Series B* **59**, 117 (2017)
- [2] *Daniel J. Keddie, Guerrero-Sanchez C., Moad G. [et al.]. Macromolecules* **45**, 4205 (2012).
- [3] *Benaglia, M., Chen, M., Chong, Y. K., Moad, G., Rizzardo, E., Thang, S. H. Macromolecules* **42**, 9384 (2009).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА КОМПОЗИЦИИ ПОЛИЛАКТИДА С НАНОПЛАСТИНАМИ ГРАФИТА

Гасымов М.М.¹, Роговина С.З.¹, Кузнецова О.П.¹, Ломакин С.М.^{1,2}, Шевченко В.Г.^{1,3}, Берлин А.А.¹

¹Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова
Российской академии наук, г. Москва

²Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и
медицинской химии Российской академии наук, г. Черноголовка

³Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова
Российской академии наук, г. Москва
mrzlolmiraga@mail.ru

Полимерные композиции, содержащие в качестве наполнителей двумерные слоистые нанопластины графита (НПГ), привлекают в настоящее время внимание большого числа исследователей, поскольку композиты, полученные с их использованием, обладают улучшенными прочностными и термическими характеристиками и представляют собой высоко востребованный тип современных материалов.

В данной работе были получены композиции полилактида (ПЛА) с нанопластинами графита (НПГ), содержащие от 0.05 до 5 мас.% наполнителя. Композиции были получены твердофазным способом под действием сдвиговых деформаций в смесителе закрытого типа. Для исследования воздействия ультрафиолетового (УФ) излучения на пленки ПЛА-НПГ образцы помещались в спектрофотометр, где они подвергались воздействию УФ-облучения в течение различного времени. Для оценки воздействия УФ-излучения применяли метод эксклюзионной хроматографии (ЭХ), позволяющей оценить изменение молекулярного веса и молекулярно-массового распределения (ММР). Максимальное падение молекулярного веса отмечено для композиций с низким содержанием НПГ, тогда как увеличение содержания нанонаполнителей приводит к увеличению их стабильности. Исследование электрических свойств композиций показало, что проводимость композиций на постоянном токе появляется при концентрации наполнителя 5 мас.%. Изучение влияния наполнителя на свойства композиций показало, что присутствие НПГ влияет на пористость образцов и на их механические характеристики. Введение нанонаполнителей приводит к увеличению жесткости (возрастанию модуля E), снижению прочности и удлинения при разрыве.

Таким образом, полученные результаты позволяют целенаправленно влиять на свойства получаемых композиций на основе ПЛА и НПГ и способствуют получению полимерных материалов, обладающих устойчивостью к воздействию УФ-облучения.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (№ проекта 22-23-00369) и в рамках Государственного задания № АААА-А19-119041090087-4 (исследования методом эксклюзионной хроматографии).

ПОЛИМЕРЫ ЗВЕЗДООБРАЗНОГО СТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ НИТРАТОВ В-ЦИКЛОДЕКСТРИНОВ

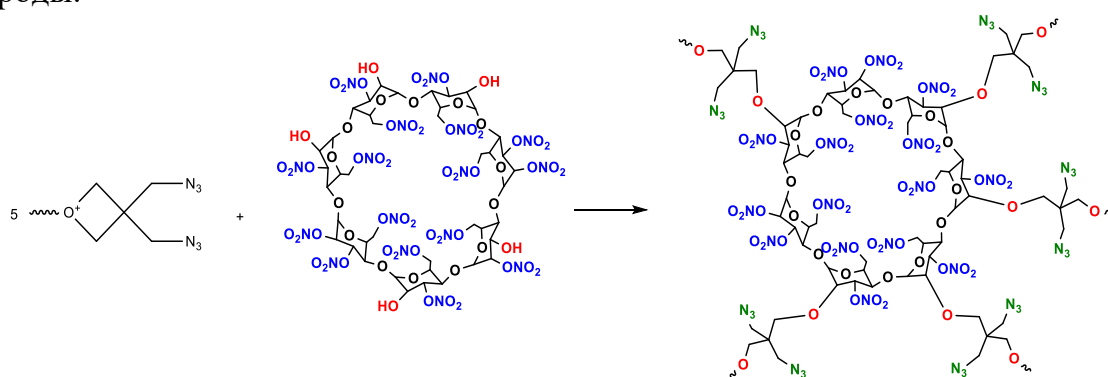
Даровских А.В., Тарасов А.Е., Романова Л.Б., Барина Л.С., Бадамшина Э.Р., Михайлов Ю.М.

Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, г. Черноголовка, darrow.a.91@gmail.com

На сегодняшний день перспективным направлением развития химии полимеров является создание соединений с развитой архитектурой, так называемых звездообразных полимеров.

Звездообразные полимеры – это простейший класс разветвленных полимеров с общей структурой, состоящей из нескольких (как минимум трех) линейных цепей, соединенных с центральным ядром. Ядро или центр полимера может быть атомом, молекулой или макромолекулой; цепи, или «лучи», состоят из органических цепей переменной длины [1]. Звездообразные полимеры с разветвленной глобулярной структурой обладают, более низкой вязкостью раствора или расплава, отсутствием или более низким переплетением цепей и лучшей растворимостью.

Ранее была показана возможность получения звездообразных полимеров на основе нитратов циклодекстринов [2]. Целью настоящей работы являлось получение полимеров звездообразного строения на основе нитратов β -циклодекстрина с различным количеством остаточных гидроксильных групп, при этом в качестве полимерных «лучей» рассматривались полиоксетаны, содержащие в своей структуре функциональные группы различной природы, определение характеристик получающихся соединений и выявление закономерностей изменения свойств звездообразных полимеров от количества «лучей» и их природы.



Список литературы:

- [1] *Hadjichristidis, N., Pitsikalis, M., Iatrou, H., Driva, P., Sakellariou, G., Chatzichristidi, M.* In *Polymer Sci.: A Comprehensive Reference*, **29**, 111 (2012).
 [2] *Tarasov, A.E., Perepelitsina, E.O., Romanova, L.B., Darovskikh, A.V., Smirnov, V.S., Badamshina, E.R., Mikhailov, Yu.M.* *Mendeleev Commun.* **32**, 341 (2022).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (договор № 075-15-2020-803).

КАЛЬЦИЙСОДЕРЖАЩИЕ ГИДРОГЕЛЕВЫЕ СИСТЕМЫ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Жидоморова К.А.^{1,2}, Спиридонова З.А.^{1,2}, Семивеличенко Е.Д.³, Ивкин Д.Ю.³,
Красиков В.Д.¹, Еремин А.В.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Санкт-Петербургский государственный университет технологический
институт (технический университет), г. Санкт-Петербург*

³*Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический
университет, г. Санкт-Петербург
zhidomorovak@gmail.com*

Кожа является первичным барьером физической и иммунной защиты организма, а ее повреждения – механические или термические, - способны быть фатальными. Процесс заживления ран кожи достаточно сложен и включает в себя взаимодействие между различными типами клеток, гормонами роста, цитокинами и стабильным поступлением ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} и Zn^{2+} [1]. Несмотря на все современные достижения, задача по созданию идеальной повязки, способной эффективно поддерживать водный баланс, заживление и уменьшать рубцевание кожных ран, особенно таких, как ожоги, труднозаживающие хронических раны, венозные язвы и язвы диабетической стопы, пролежни - является достаточно актуальной. Ранее было показано, что ион $\text{Ca}^{2+}_{\text{solv}}$ является важнейшим фактором коагуляции в процессе гемостаза и выступает в качестве сигнального фактора, управляющего клеточными функциями различных типов клеток в процессе заживления ран [2]. С другой стороны, известны примеры положительного влияния микроконцентраций комплексов меди на процессы регенерации тканей кожи [3].

В настоящей работе были получена серия препаратов для раневых покрытий на основе частично сшитых гидрогелей - интермолекулярном комплексе поливинилпирролидон – полиэтиленгликоль (PVP/PEG, Mw 10⁶/400), содержащих комплекс кальция с триэтиленгликолем $[\text{Ca}(\text{TEG})_2](\text{OAc})_2$ и/или иономер $[\text{Cu}^{\text{II}}(\text{TMEDA})_2]\text{HPVP}$ (где TMEDA = N,N,N',N'-тетраметилэтилендиамин, HPVP = частично гидролизованый PVP, содержащий 4% мольн. карбоксилатных групп).

Первичные биологические исследования *in vivo* образцов лекарственных препаратов на основе гидрогелей PVP/PEG, содержащих комплексы кальция (С 120 мМ) показало их эффективность в процессах заживления ожоговых травм животных относительно стандартного препарата сравнения - Депантола[®].

Список литературы:

[1] *Dehkordi A.N., Babaheydari F.M., Chehelgerdi M., Dehkordi S.R. Stem Cell Res. Ther. 111, 10 (2019).*

[2] *Kulesz-Martin M.F., Fabian D., Bertram J.S. Cell Prolif. 525, 333 (1984).*

[3] *Buffoni F, Pino R, Dal Pozzo A. Arch. Int. Pharmacodyn. Ther. 330, 345 (1995).*

МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕТАЛЛ-ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЕВРОПИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНА

Жидоморова К.А.^{1,2}, Сивцов Е.В.¹, Красиков В.Д.², Еремин А.В.²

¹Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет), г. Санкт-Петербург

²Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
zhidomorovak@gmail.com

Введение комплексов редкоземельных элементов в состав полимеров (МПК) позволяет получить материалы, обладающие рядом достаточно интересных свойств, таких как люминесценция, способность к переносу или накоплению энергии и ряд других. В частности, МПК лантанидов могут быть востребованы при визуализации биологических процессов или исследованиях в медицине.

В работе взаимодействием моноядерного гидроксокомплекса европия(III) $\text{Eu}(\text{Phen})_2(\text{OH})_3$ и соответствующих полимерных кислот на основе ПВП были синтезированы МПК европия:

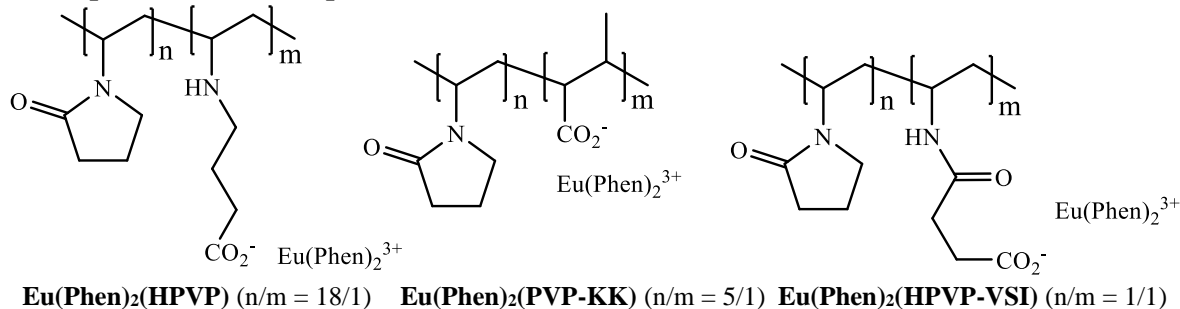


Рис. 1 - МПК $\text{Eu}(\text{Phen})_2(\text{L})$ (L = полимерный анион).

Полученные МПК охарактеризованы методами элементного анализа, ИК- и электронной спектроскопии, люминесценции и динамического светорассеяния. В ЭСП $\text{Eu}(\text{Phen})_2(\text{L})$ присутствуют максимумы вблизи 224 и 263 нм, отвечающие за внутрилигандный (Phen) перенос заряда (ПЗ) в комплексе $\text{Eu}(\text{Phen})_2^{3+}$ и относительно низкоинтенсивные широкие полосы ПЗ металл-лиганд при 400-515 нм. Последняя полоса наиболее сильно проявляется в МПК с большим содержанием металлоцентров (т.е. $\text{Eu}(\text{Phen})_2(\text{PVP-KK})$ и $\text{Eu}(\text{Phen})_2(\text{HPVP-VSI})$). Для всех исследованных МПК и комплекса-прекурсора $\text{Eu}(\text{Phen})_2(\text{Br})_3$ наблюдался интенсивный пик в спектрах испускания люминесценции, соответствующий переходу $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$ (сверхчувствительный переход), расположенный в области длин вол 600-630 нм. По данным динамического светорассеяния введение комплексного иона европия не приводило к изменению структуры молекулы поликарбоксилатного полимера в растворе, что может, косвенно, говорить о МПК, типа иономера, когда комплексный ион не образует прочных координационных связей с полимерным карбоксилатным лигандом и связан с ним только электростатическими взаимодействиями.

**ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ГЕКСАМЕТИЛЦИКЛОТРИСИЛОКСАНА,
ИНИЦИИРУЕМАЯ ФЕНИЛСИЛАНОЛАМИ**

Зубова В.Ю.^{1,2}, Миняйло Е.О.^{1,3}, Темников М.Н.^{1,3}, Щеголихина О.И.¹, Анисимов А.А.^{1,2,3}, Музафаров А.М.^{1,4}

¹*Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова Российской академии наук, г. Москва*

²*Московский физико-технический институт, Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики, г. Москва*

³*Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого, г. Тула*

⁴*Институт синтетических полимерных материалов им. Н. С. Ениколопова Российской академии наук, г. Москва
valera.zubova.2002@mail.ru*

Особое место в обширном и широко используемом классе полиорганосилоксанов занимают полидиметилсилоксаны (ПДМС). Это обусловлено тем, что данные полимеры обладают уникальным комплексом физико-химических свойств.

ПДМС могут быть функционализированы различными группами, что позволяет создавать материалы с определенными свойствами. В силу уникальности химии силиконов, представляется интересным получение новых соединений на их основе, в том числе и звездообразных полимеров.

Основным методом промышленного получения ПДМС является анионная полимеризация октаметилциклотетрасилоксана ($D_4^{Me_2}$). Однако данный процесс является равновесным, что обуславливает активное протекание побочных процессов с образованием циклических продуктов и уширением молекулярно-массового распределения полимеров.

Ранее в ИНЭОС РАН был разработан новый экологичный способ получения узкодисперсных полидиметилсилоксанов [1]. Было показано, что использование аммиака в качестве реакционной среды позволяет получать полимеры без дополнительных стадий очистки и выделения при практически полной конверсии циклического мономера.

В данной работе получены монофункциональные, телехелевые и трифункциональные полидиметилсилоксаны в среде аммиака полимеризацией с раскрытием цикла $D_3^{Me_2}$ с использованием трифенилсиланола, дифенилсиландиола и фенилсилантриола в качестве инициаторов. Все полученные ПДМС являются узкодисперсными. Структура и чистота полученных соединений были подтверждены комплексом методов физико-химического анализа.

Список литературы:

[1] *Minyaylo E., Temnikov M., Anisimov A., Peregudov A., Shchegolikhina O., Muzafarov A. Applied Polymer Material* **4** (8), 5696 (2022).

Благодарности

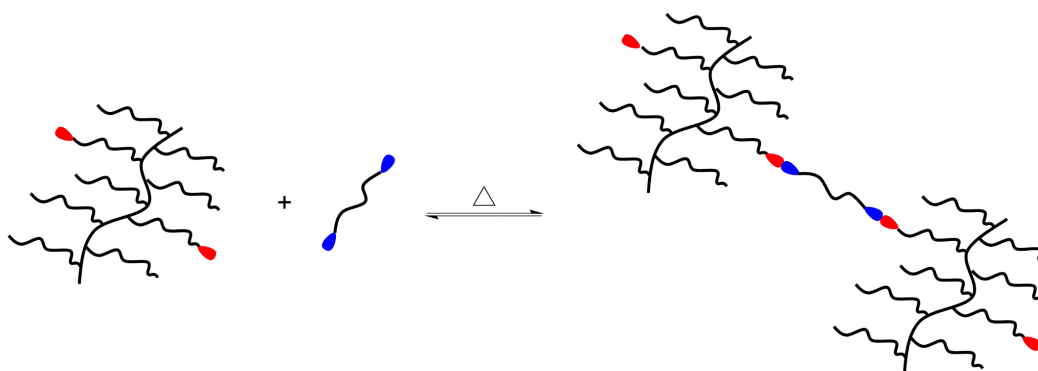
Работа выполнена при поддержке гранта РФФ (№ 21-73-20225).

ТЕРМОИНДУЦИРОВАННЫЕ СЕТЧАТЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ЩЕТОК

Иванов И.В., Богорад Н.Н., Мильцов С.А., Якиманский А.В.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
gangspil@gmail.com*

Работа посвящена исследованию формирования термоиндуцированных сшитых полимерных сетей на основе молекулярных щеток путем динамического сшивания с помощью термообратимых реакций Дильса-Альдера (ДА)/ретро-ДА.



На первом этапе синтезированы молекулярные полимерные щетки с полиимидной (ПИ) основной цепью и боковыми цепями поли(2-гидроксиэтилметакрилат)а (ПГЭМА) способом «прививка от» методом ATRP на полиимидных мультицентровых макроинициаторах. Разработаны условия контролируемого синтеза ПИ-прив-ПГЭМА, позволяющие целенаправленно регулировать длину боковых цепей.

На втором этапе найдены условия введения в структуру боковых цепей молекулярных щеток ПИ-прив-ПГЭМА фурановых функциональных групп. Проводили пост-полимеризационную модификацию образцов щеток путем реакции сочетания с фурфурил изоцианатом в присутствии 1,4-диазобисцикло[2.2.2]октана (ДАВСО).

Методом ^1H ЯМР- и ИК-спектроскопии контролировали протекание полимеризации 2-гидроксиэтилметакрилата, реакции связывания ОН-групп боковых цепей молекулярных щеток ПИ-прив-ПГЭМА с фурфурил изоцианатом и структуру синтезированных привитых сополимеров.

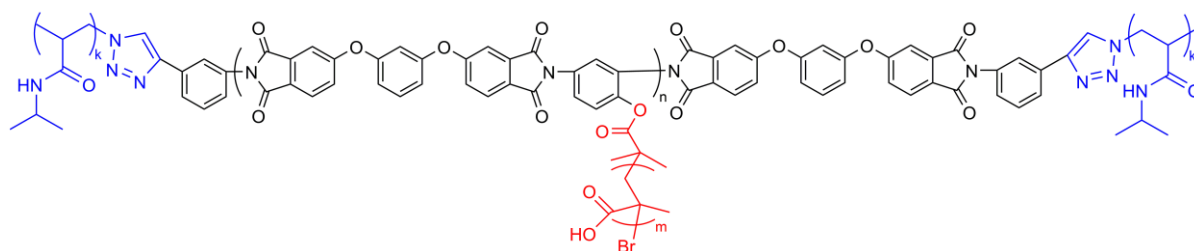
С помощью реакции Дильса-Альдера/ретро-ДА в среде диметилформамида синтезированы сшитые полимерные системы при взаимодействии между фурановыми функциональными группами на концах боковых цепей молекулярных щеток ПИ-прив-ПГЭМА с дималеимидным сшивателем. Успешное протекание реакции сшивания молекулярных щеток с дималеимидом подтверждали методом ИК-спектроскопии.

ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ГИБРИДНЫЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЩЕТКИ АВА-ТИПА НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДА

Иванов И.В., Богорад Н.Н., Кукаркина Н.Н., Якиманский А.В.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
gangspil@gmail.com*

Синтезированы гибридные блок-привитые триблок-сополимеры АВА-типа с центральным «щеточным» блоком с полиимидной (ПИ) основной цепью и гидрофильными боковыми цепями полиметакриловой кислоты (ПМАК) и термочувствительными периферийными цепями поли(*N*-изопропилакриламида) (ПНИПАМ) ПНИПАМ-блок-(ПИ-прив-ПМАК)-блок-ПНИПАМ – с помощью комбинации методов радикальной полимеризации с переносом атома ATRP и Cu(I)-катализируемого циклоприсоединения азидов и алкинов, CuAAC.



Найдены условия контролируемого синтеза термочувствительного блока А – ПНИПАМ – методом ATRP с последующим введением в концевые звенья азидных групп. Функционализированные линейные цепи ПНИПАМ(N₃) были использованы в качестве макромономеров для прививки к концевым алкинильным группам гетерофункциональных инициаторов методом «клик»-химии.

Протестированы два способа синтеза триблок-сополимеров АВА-типа ПНИПАМ-блок-(ПИ-прив-ПМАК)-блок-ПНИПАМ: одnoreакторный и двухстадийный. В рамках первого способа, режим «one-pot», исследована одновременная прививка к гетерофункциональному макроинициатору термочувствительных цепей блока А методом CuAAC и боковых цепей в «щеточном» блоке методом ATRP в присутствии каталитических комплексов на основе CuCl. Во втором способе на первой стадии разработаны условия синтеза молекулярных щеток с боковыми цепями поли(*трет*-бутилметакрилата) (ПТБМА) методом ATRP способом «прививка от» на гетерофункциональном ПИ макроинициаторе с 2-бром-изобутиратными группами в каждом звене. На второй стадии изучена «клик»-реакция циклоприсоединения ПНИПАМ(N₃) с концевыми азидными группами к концевым алкинильным группам полученных на первой стадии щеток ПИ-прив-ПТБМА.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-13-00270).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЭЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНО-ТКАНЕВОГО ПОЛОТНА

Прохорова И.Е., Щелкунова А.Ю., Сивак Т.П., Кадыкова Ю.А., Калганова С.Г.

*АО "Научно-производственное предприятие "Контакт",
научно-исследовательский центр, г. Саратов
nauka@kontakt-saratov.ru*

В настоящей работе исследовано влияние СВЧ электромагнитного поля (ЭМП) на эластические свойства резино-тканевого полотна (РТП) на основе бутадиен-нитрильного каучука и углеродной ленты. Данный материал широко применяется для изготовления мембран регуляторов давления газа, предохранительных и отключающих клапанов в системах газораспределения и газопотребления.

Исследования влияния режимов СВЧ ЭМП на РТП проводили на автоматизированной специализированной СВЧ установке для научных исследований на базе камеры с бегущей волной, позволяющей регулировать уровень мощности и продолжительность процесса обработки объекта [1,2].

На начальном этапе исследования изучено влияние мощности СВЧ ЭМП на образцы резино-тканевого полотна при продолжительности воздействия 20 сек.

Таблица 1. Влияние СВЧ ЭМП на свойства резино-тканевого полотна.

Мощность СВЧ ЭМП, Вт	Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	Относительное удлинение при растяжении, мм
-	181	11,8
200	185	12,2
400	255	13,8
600	218	12,9

Как видно из табл.1, воздействие СВЧ ЭМП при мощности 400 Вт позволяет повысить эластичность РТП, т.к. увеличиваются ~ на 40% разрушающее напряжение при растяжении и ~ на 17% относительное удлинение при разрыве. При дальнейшем повышении мощности эластичность материала снижается.

В результате научной работы установлена оптимальная мощность СВЧ ЭМП, при которой достигается повышение эластичности РТП. В дальнейших исследованиях планируется изучение влияния продолжительности СВЧ воздействия не только на эластические свойства резино-тканевого полотна, но и на комплекс физико-химических и механических характеристик.

Список литературы:

- [1] Калганова, С.Г. Электротехнология нетепловой модификации полимерных материалов в СВЧ электромагнитном поле: специальность 05.09.10 «Электротехнология»: дис. д-ра техн. наук / Калганова Светлана Геннадьевна. – Саратов, 2009. – 356 с.
- [2] Пат. RU 2702897 С1 Российская Федерация, МПК H05B 6/64. Установка нетепловой модификации полимеров в СВЧ электромагнитном поле / Калганова С.Г., Лаврентьев В.А., Алексеев В.С., Васинкина Е.Ю., Сивак А.С.: заявитель и патентообладатель СГТУ имени Гагарина Ю.А. – № 2018147608; заявл. 28.12.2018; опубл. 14.10.2019.

АМИНОЛИЗ ЦИКЛОКАРБОНАТОВ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ γ-АМИНОПРОПИЛТРИЭТОКСИСИЛАНОМ

Казанцева А.Ю.¹, Транкина Е.С.², Ханин Д.А.², Любимов С.Е.², Музафаров А.М.^{2,3}

¹МИРЭА – РТУ, ИТХТ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

²Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,
г. Москва

³Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,
г. Москва

kazantseva2132000@yandex.ru

Полиуретаны представляют собой высокомолекулярные соединения с уретановыми группами – NHC(O)O – в основной цепи. В зависимости от структуры исходных компонентов и условий синтеза можно получать полиуретаны различного строения с разнообразными свойствами, что определяет их применение во многих отраслях промышленности. Однако промышленный метод синтеза полиуретанов с экологической точки зрения не является безупречным, так как основан на реакции взаимодействия токсичных ди- и полиизоцианатов с полифункциональными гидроксилсодержащими соединениями. В связи с этим весьма актуальными являются исследования по разработке альтернативных путей синтеза данных полимеров. В литературе описан ряд химических процессов, приводящих к формированию уретановой группировки без участия изоцианатов [1]. Аминолиз циклокарбонатов считается наиболее перспективным для получения неизоцианатных полиуретанов, т.к. реакция не чувствительна к влаге, а исходные компоненты не обладают такой токсичностью, как изоцианаты и фосген, который используется при их синтезе (рис. 1) [2].

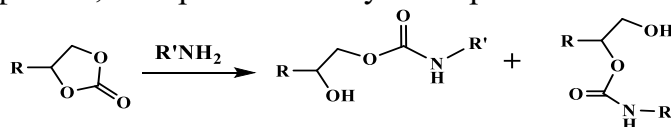


Рис. 1 - Схема аминолиза.

В качестве исходных компонентов нами были выбраны циклокарбонаты различного строения: линейный дициклокарбонат (на основе окиси пропилена), разветвленный трициклокарбонат (на основе триметилпропана и окиси пропилена), ароматический дициклокарбонат (на основе бисфенола-А) и γ-аминопропилтриэтоксисилан (АГМ-9). Процесс проводился без использования растворителей. Конверсия циклокарбонатов определялась с помощью ИК-спектроскопии. В результате проведенных кинетических исследований было показано, что на скорость реакции аминолиза положительно влияет ряд факторов - температура, катализатор, а также избыток амина. На основе новых неизоцианатных полисилоксануретанов (НИПСУ) были получены шитые пленочные материалы и изучены их физико-механические и термические характеристики.

Список литературы:

[1] Kreye O., Mutlu H., Meier M.A.R. Green Chem. **15** (6), 1431 (2013).

[2] Figovsky O., Shapovalov L., Leykin A., Birukova O., Potashnikova R. PU Mag. **10**, 256 (2013).

КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ПРОИЗВОДНЫХ НОРБОРНЕНА НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСОВ ПАЛЛАДИЯ С БИДЕНТАТНЫМИ P-S ЛИГАНДАМИ

Карпов Г.О., Бермешев М.В.

*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева
Российской академии наук, г. Москва
karpov@ips.ac.ru*

Аддитивная (со)полимеризация норборнена и его производных является одним из перспективных направлений в дизайне материалов с заданными прикладными характеристиками. Продукты аддитивной (со)полимеризации производных норборнена характеризуются высокими температурами стеклования, повышенной термической стабильностью, большей устойчивостью к действию растворителей, а также уникальной прозрачностью. Кроме того, сополимеризация производных норборнена с этиленом, катализируемая комплексами переходных металлов, открывает возможности для контроля над свойствами полимерных материалов за счет регулируемого введения звеньев полярных сомономеров в структуру продуктов. Разработка высокоэффективных каталитических систем для (со)полимеризации является одним из ключевых условий для направленного синтеза (со)полимеров требуемой структуры. Ранее заметную эффективность в (со)полимеризации производных норборнена и этилена демонстрировали каталитические системы на основе бидентатных гетероатомных лигандов, в частности, фосфинсульфонатных P-O лигандов. В рамках данной работы впервые проведено систематическое исследование родственных каталитических систем на основе бидентатных P-S лигандов в аддитивной полимеризации норборнена и его производных.

В результате, впервые оценены взаимосвязи между структурой бидентатных P-S лигандов и активностью каталитических систем в аддитивной полимеризации норборнена. Установлено влияние объемных фрагментов, а также электронных эффектов заместителей при атомах фосфора и серы в структуре лиганда на активность соответствующих катализаторов. В результате оптимизации состава каталитических систем (структуры предкатализатора, сокатализатора, мольных соотношений [мономер]:[предкатализатор], [предкатализатор]:[сокатализатор], [предкатализатор]:[лиганд]) предложены условия синтеза аддитивных полинорборненов с высокими выходами. Оценены молекулярно-массовые характеристики и изучены физико-химические свойства продуктов полимеризации норборнена и его производных.

Список литературы:

[1] Ravasio, A.; Boggioni, L.; Tritto, I. *Macromolecules* **44**, 4180 (2011).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского Научного фонда No. 23-73-01253.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА АМИНОЛИЗА КОРОТКОЦЕПНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ФОСФАЗЕНОВ

Карпова Е.А., Иванов А.М., Бредов Н.С., Солдатов М.А., Поляков В.А.

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва
EkaterinaAKarpova@yandex.ru*

В настоящий момент химия и технология полимерных материалов являются бурно развивающимися областями материаловедения. Высокомолекулярные соединения затрагивают практически все области современной жизни человека, начиная с применения волокон, пленок и эластомеров в быту, и заканчивая использованием конструкционных материалов в промышленности. Большинство из известных и коммерчески доступных полимеров представляют собой органические макромолекулы, однако они имеют ряд недостатков, в том числе склонность к деструкции, повышенная горючесть, а также низкая термостойкость. Одной из наиболее перспективных областей в развитии полимерных материалов является изучение макромолекулярных соединений на стыке органической и неорганической химии, в частности фосфорсодержащих. Подобные полимерные структуры позволяют расширить круг получаемых материалов за счет появления дополнительных свойств, обусловленных наличием неорганических элементов в составе цепи и боковым заместителем при атомах фосфора. Примерами таких соединений могут являться полифосфазены, образующие группу более чем из 700 различных структур с широким спектром физико-химических свойств [1].

Замещенные полифосфазены представляют большой класс соединений, вызывающих интерес ввиду широкого разнообразия физико-химических свойств и возможности применения в различных отраслях промышленности и науки [2]. Линейные аминозамещенные фосфазены являются перспективными соединениями для создания материалов для практической медицины, однако вопросы, касающиеся влияния различных аминов на протекание процесса нуклеофильного замещения, до сих пор остаются открытыми.

Так, при попытке получения линейных фосфазенов со смешанными боковыми заместителями были получены диметилэтилендиамино- и имидазол- замещенные фосфазены с различным соотношением аминов [2]. При исследовании продуктов степень замещения хлора на фрагменты имидазола была на 20% меньше теоретической. Причины данного явления до сих пор не изучены.

Данная работа посвящена изучению процессов замещения атомов хлора в линейных хлорфосфазенах на остатки вышеуказанных аминов. Для лучшего отслеживания закономерностей в качестве модельного фосфазена был выбран трихлорфосфазодихлорфосфонил $\text{Cl}_3\text{P}=\text{N}-\text{POCl}_2$. Состав и строение продуктов были проанализированы с помощью методов MALDI-TOF масс-спектрометрии и ^1H , ^{31}P ЯМР-спектроскопии.

Список литературы:

- [1] *Gleria. M., De Jaeger R.* Polyphosphazenes: A Review. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg (2005).
- [2] *Y. Yang, Xu Z., Jiang J., Gao Y., Gu W., Chen L., Tang X., Li Y.* Journal of Controlled Release **127** (3), 273-279 (2008).

СВЕРХСШИТЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ СОРБЕНТЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ 4-ВИНИЛПИРИДИНОМ И ГЛИЦИДИЛМЕТАКРИЛАТОМ: СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

Кириллов А.С., Горшков Н.И., Шевченко Н.Н., Красииков В.Д.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
a.kirillov2622@gmail.com*

В последние годы сверхсшитые полимеры стали широко использоваться в качестве сорбентов в различных хроматографических и сорбционных процессах. Это связано с тем, что сверхсшитые полимерные сорбенты (СПС) обладают большой удельной внутренней поверхностью ($S_{уд}$), возможностью регулирования пористой и химической структуры, что позволяет получать материалы с необходимыми свойствами.

Цель данной работы заключалась в синтезе сверхсшитых полимерных сорбентов с различной химической структурой, а также исследовании их структуры и сорбционных свойств.

В качестве исходной матрицы методом радикальной суспензионной полимеризации были получены гранулы слабосшитого гелевого сополимера стирола (Ст) и дивинилбензола (ДВБ), терполимера Ст, ДВБ и 4-винилпиридина (4-ВП), а также терполимера Ст, ДВБ и глицидилметакрилата (ГМА). Синтез СПС осуществлялся по реакции Фриделя-Крафтса с использованием монохлордиметилового эфира в качестве внешнего сшивающего агента и безводного хлорного железа в качестве катализатора.

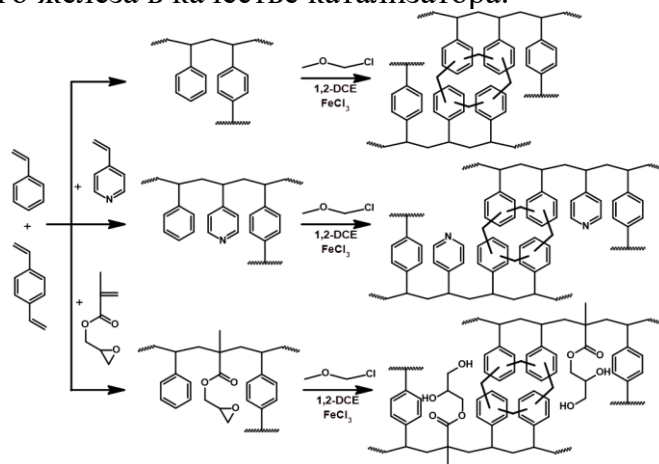


Рис. 1 - Схема синтеза СПС с различной химической структурой.

Значения $S_{уд}$ и объема пор СПС были определены методом низкотемпературной адсорбции-десорбции азота. Все полученные СПС характеризуются развитой микропористой структурой. Введение более гидрофильных сомономеров приводит к снижению $S_{уд}$ и объема пор. Структура СПС подтверждена методом ИК-спектроскопии.

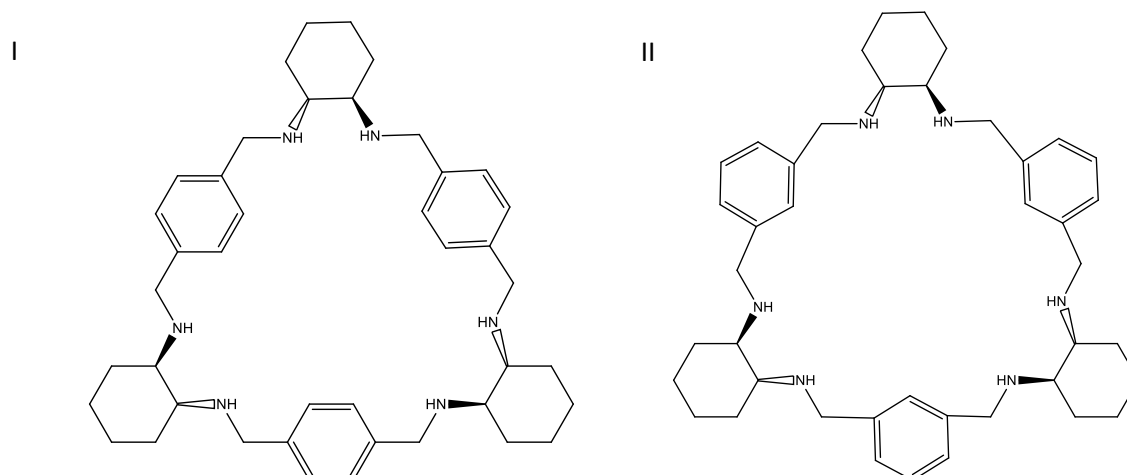
Проведены оценка и сравнение сорбционной способности СПС по отношению к модельным низкомолекулярным соединениям (антибиотикам, красителям и др.).

ГЕКСААЗА[2₆]ЦИКЛОФАНЫ В СИНТЕЗЕ ЗВЕЗДООБРАЗНЫХ ПОЛИОКСАЗИНОВ

Козина Н.Д., Головина М.А., Курлыкин М.П.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
ndkozina@gmail.com*

С целью получения термочувствительных звездообразных полиалкилениминов с макроциклическим полиазацicloфановым ядром разработан метод синтеза азацicloфанов [3+3]-циклотримеризацией R,R- и R,S-транс-1.2-циклогександиамина с тере-(I) и изофталевыми(II) альдегидами. Вследствие стереокомплементарности, реакция образования циклического основания Шиффа протекает с выходами близкими к количественному и, после восстановления боргидридом натрия, приводит к целевым макроциклам.



Показано, что азацicloфананы могут быть использованы в качестве терминирующих агентов «живых» полиоксазолиновых цепей. Это дает возможность использовать полученные соединения для синтеза звездообразных полимеров методом «прививка на». Полученные азацicloфананы обладают выраженной склонностью к комплексообразованию и образуют комплексы состава 1:1 с европием и гадолинием, которые могут применяться в качестве контрастных средств в магниторезонансной томографии.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 23-13-00205

КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЦИМАНТРЕНКАРБОКСИЛАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ РЗМ С ФЕРРОЦЕНФОСФИНОКСИДНЫМ ЛИГАНДОМ В ПРОЦЕССАХ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ВИНИЛОВЫХ МОНОМЕРОВ

Коротеев П.С.¹, Илюхин А.Б.¹, Ефимов Н.Н.¹, Павловская М.В.², Гришин Д.Ф.²

¹Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук, г. Москва

²Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского,
г. Нижний Новгород
pskoroteev@list.ru

Известно, что производные цимантрена ($\text{CymH} = (\eta^5\text{-C}_5\text{H}_5)\text{Mn}(\text{CO})_3$) могут служить катализаторами полимеризации [1]. В то же время карбоксилатные комплексы лантаноидов способны влиять на стереорегулярность этого процесса [2]. Ранее нами было показано, что комплекс $[\text{Nd}_2(\text{CymCO}_2)_6(\text{DMSO})_4]$ является катализатором стереорегулярной полимеризации 2,3-диметил-1,3-бутадиена [3]. Продолжая исследования в области металлоорганических $3d\text{-}4f$ -карбоксилатов, мы получили новую серию гетеролептических $3d\text{-}3d'\text{-}4f$ -комплексов, $[\text{Ln}(\text{CymCO}_2)_2(\text{DppfO}_2)_2]\text{X}\cdot\text{Solv}$ ($\text{Ln} = \text{Nd, Dy, Ho}$ и Er ; $\text{X} = \text{Cl}^-$ или NO_3^- ; DppfO_2 – лиганд $\text{Fe}(\eta^5\text{-C}_5\text{H}_4\text{P}(\text{O})\text{Ph}_2)_2$; Solv – сольватные молекулы). Оба типа лигандов в катионах $[\text{Ln}(\text{CymCO}_2)_2(\text{DppfO}_2)_2]^+$ бидентатны (рис. 1, слева). Изучена активность комплексов $[\text{Ln}(\text{CymCO}_2)_2(\text{DppfO}_2)_2]\text{Cl}\cdot\text{Solv}$ ($\text{Ln} = \text{Nd}$ (**1**), Ho (**2**)) в процессах полимеризации метилметакрилата и стирола в присутствии $(\text{PhCOO})_2$, а также при УФ-световой либо термической активации процесса в присутствии CCl_4 .

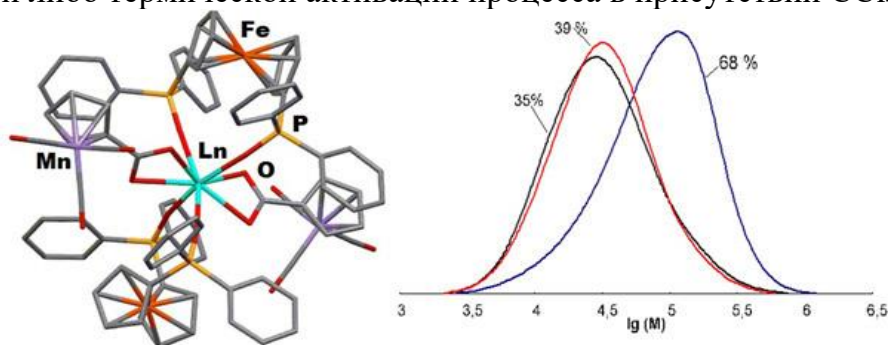


Рис. 1 - Строение катионов в соединениях $[\text{Ln}(\text{CymCO}_2)_2(\text{DppfO}_2)_2]\text{X}$ (слева) и кривые ММР образцов полистирола, полученных в присутствии **1** (0.05 мол.%) и CCl_4 (0.25 мол.%) при 110°C ; даны выходы (% , справа).

Список литературы:

- [1] Pavlovskaya M.V., Kolyakina E.V., Kotlova E. S., Gruzdeva L.N., Grishin, D.F. Russ. J. Appl. Chem. **84**, 1813 (2011).
 [2] Zhang Z., Cui D., Wang B., Liu B., Yang Y. Struct. Bond. **137**, 49 (2010).
 [3] Koroteev P.S., Dobrokhotova Zh.V., Ilyukhin A.B., Birin K.P., Motornova M.S., Novotortsev V. M. Russ. Chem. Bull., Int. Ed. **61**, 1069 (2012).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 22-73-10189).

МИКРО- И НАНОЦЕЛЛЮЛОЗА, ПОЛУЧЕННАЯ ЭФФЕКТИВНЫМ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЩАДЯЩИМ МЕТОДОМ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРЕДОБРАБОТКЕ И ГИДРОЛИЗЕ ОТХОДОВ БУМАЖНОЙ МАССЫ

Котельникова Н.Е., Сапрыкина Н.Н., Лаврентьев В., Власова Е.Н.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
nkotel@mail.ru*

Экологические проблемы человечества, связанные с неумеренным потреблением и перенаселением планеты, относятся к ряду первоочередных задач, которые требуют незамедлительного решения. Одной из них является утилизация бумажных отходов. В 2021 г. российская экономика сгенерировала 8.5 млрд т отходов, при этом бумажные отходы составили ~ 1.5 млрд т, только ~ 11% которых подвергали переработке.

В серии работ нами ранее впервые было проведено исследование получения функциональных материалов из отходов макулатурной массы бумаги и картона (ОБМ), которая является источником целлюлозы, и продемонстрирована возможность получения порошковых целлюлоз (ПЦ) [1]. Экспериментальный процесс получения волокнистых образцов является многостадийным и состоит из этапов разволокнения, размола, щелочной обработки, отбелики и кислотного гидролиза. Все этапы являются трудоемкими, энергоемкими и экономически затратными. Данное исследование посвящено поиску простых и экономически эффективных путей переработки ОБМ с получением функциональных материалов. В приоритете – получение микрокристаллической (МКЦ) и нано- (НЦ) целлюлоз.

В эксперименте предварительную обработку ОБМ проводили при пониженной температуре (60-70 °С), существенно уменьшив концентрацию щелочных реагентов, что позволило значительно уменьшить время промывки образцов. Последующий гидролиз проводили в различных кислых средах без нагревания. Полученные образцы порошкообразной морфологии были разделены на фракции, каждая из которых была охарактеризована с помощью широкоугольного рентгеновского рассеяния, ИК-Фурье, СЭМ и энергодисперсионного микрорентгеновского анализа. Показано, что фракция волокнистых целлюлоз составляла 50 масс.% от выхода образцов, 38 масс.% составляла МКЦ и 12 масс.% - НЦ. Две последние фракции имели высокую кристалличность и размер палочкообразных частиц в пределах 10-100 мкм (МКЦ) и 250 нм (НЦ).

Таким образом, разработан энергетически и экономически эффективный способ получения с удовлетворительным выходом перспективных целлюлозных материалов.

Список литературы:

[1] *Mikhailidi A.M., Saurov Karim Sh., Маркин В.И., Котельникова Н.Е.* Химия растительного сырья **2**, 27 (2018).

ИНКАПСУЛИРОВАНИЕ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК В ПОЛИИЗОБУТИЛЕНОВОЙ МАТРИЦЕ

Ксендзов Е.А.^{1,2}, Прудников А.В.², Шиман Д.И.^{1,3}, Болотина Е.А.², Костюк С.В.^{1,3}

¹Белорусский государственный университет, г. Минск

²Дрезденский технический университет, г. Дрезден

³Институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета, г. Минск
zheniy-98@tut.by

Фотолюминесцентные квантовые точки являются ярким примером наноматериалов, используемых на практике, а именно в светоизлучающих и светопреобразующих устройствах. Большинство таких приложений требуют от композитного материала возможности образования оптически прозрачных тонких плёнок с высоким содержанием включённых наночастиц. Актуальной проблемой сегодня является выбор подходящего материала матрицы, способного изолировать полупроводниковые наночастицы от кислорода воздуха и влаги и препятствующего коагуляции наночастиц в процессе получения композита.

В ходе исследования был разработан метод равномерного внедрения квантовых точек Cu–Zn–In–S в матрицу сшитого полиизобутилена – материала с высокой химической стойкостью и низкой газопроницаемостью. Описываемый метод включает в себя синтез трехлучевого полиизобутилена с метакрилатными концевыми группами. Такой олигомерный прекурсор способен быстро образовывать прочную трёхмерную сетку под действие УФ-излучения с длиной волны 365 нм. Смешиваемость олигомерного полиизобутилена с квантовыми точками была достигнута путём введения лиганда, представляющего из себя линейный олигоизобутилен с концевой тиольной группой.

Полученный композит прошёл комплексные испытания на фотостабильность на воздухе и вакууме, а также на химическую стабильность. Тесты показали значительное повышение показателей стабильности по сравнению с классическими матрицами для инкапсуляции квантовых точек: полиметилметакрилатом и полилаурилметакрилатом, а также сополимером изобутилена и стирола [1,2].

Список литературы:

[1] *Shiman D.I., Sayevich, V., Meerbach Ch., Nikishau P.A., Vasilenko I.V., Gaponic N., Kostjuk S.V., Lesnyak V.P.* ACS Appl. Nano Mater. **2**. 956–963 (2019).

[2] *Prudnikau A., Shiman D.I., Ksendzov E., Harwell J., Bolotina E.A., Nikishau P.A., Kostjuk S.V., Samuel I.D.V., Lesnyak V.* Nanoscale Adv. **3**. 1443–1454 (2021).

Благодарности

Данная работа проводилась в рамках стажировок по программе Erasmus+.

РАЗРАБОТКА ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЫ АНТИОТРАЖАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ФОТОЛИТОГРАФИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА С РАБОЧЕЙ ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 248 НМ

Курбатов В.Г.^{1,2}, Пугачёва Т.А.¹, Орган В.М.¹, Малков Г.В.¹

¹*Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, отдел полимеров и композиционных материалов, г. Черноголовка*

²*Ярославский государственный технический университет, институт химии и химической технологии, г. Ярославль*
kurbatovvg@list.ru

Технологический процесс производства интегральных схем является многостадийным. Одну из ключевых ролей в нем занимает фотолитография, которая позволяет получать рельефные покрытия на функциональных поверхностях. При экспонировании фоторезиста с помощью монохроматического излучения, когда топологическая норма приближается к длине волны, возникают негативные эффекты, связанные с образованием стоячих волн, либо интерференцией в тонких плёнках. Это обуславливает возникновение дефектов в формируемом изображении. Для подавления таких дефектов используют антиотражающие покрытия, в частности, наносимые под плёнку фоторезиста.

Цель настоящей работы – разработка полимерной основы и состава композиции для антиотражающих покрытий, предназначенных для KrF-фотолитографии.

Проведен анализ промышленно выпускаемой композиции для получения антиотражающих покрытий для KrF-фотолитографии. Было установлено, что пленкообразующая основа представляет собой сополимер метилметакрилата с малеиновым ангидридом, этерифицированным метиловым спиртом. В качестве хромофорного соединения в данной композиции используется соединение на основе 9-антраценметанола. В качестве растворителей для этой композиции, используется смесь метоксипропанола и метоксипропилацетата в различных соотношениях. Сшивающий агент представляет собой аминокформальдегидный олигомер.

Получены два типа полимерных основ для антиотражающего покрытия. В первом случае хромофорная группа, обеспечивающая поглощение при необходимой длине волны, находится в боковой цепи полимера, а в другом случае полимерная основа обеспечивает только пленкообразующие свойства, а соединение с хромофорной группой, добавляется дополнительно в композицию и не связано химически с сополимером. Оценена эффективность действия антиотражающих покрытий, полученных как первым путем, так и вторым. Исследован процесс отверждения полимерной основы антиотражающего покрытия.

Благодарности

Работа выполнена по теме № 0074-2019-0014 Государственного задания (№ гос. регистрации АААА-А19-119101590029-0) с использованием оборудования Аналитического центра коллективного пользования ФИЦ ПХФ и МХ РАН

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОГЕЛЕЙ НА ИХ МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Лаишевкина С.Г.¹, Шевченко Н.Н.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
s.laishevkina@gmail.com*

Полимерные микрогели представляют собой частицы, способные набухать под действием подходящего растворителя. В зависимости от размера их можно разделить на наногели (менее 1 мкм) и микро (более 1 мкм). Большинство исследований описывает синтез наногелей получаемых методом как осадительной, так и обратной эмульсионной полимеризации, что обусловлено их применением (например, доставка лекарств). Однако получение более крупных микрогелей (1-10 мкм) обсуждается достаточно редко, поскольку контролируемый синтез гидрофильных частиц такого размера представляет собой более сложную задачу. В данной работе методом обратной суспензионной полимеризации были получены частицы на основе гидрофильных сульфосодержащих мономеров. Показано, что размер образующихся частиц сильно зависит от содержания Span 80. Так, для получения частиц в диапазоне 1-10 мкм при концентрации эмульгаторов (Tween 80-Span 80) 5 масс. % по отношению к дисперсионной среде содержание Span 80 не должно превышать 43%.

Включение в процессе синтеза таких микрогелей модифицированных наночастиц $\text{TiO}_2@$ ПМАК [1] позволяет использовать полученные микрогели для обработки семян сельскохозяйственных культур с целью повышения их всхожести и скорости роста, благодаря наличию фотокаталитически активного ядра двуокиси титана, повышающего эффективность фотосинтеза. Кроме того, благодаря наличию в структуре микрогелей наночастиц TiO_2 , они могут демонстрировать противогрибковое и антимикробное действие.

Список литературы:

[1] *Krasnoperova E.L., Melenevskaya E.Yu., Shilova O.A., Nikolaev A.M. Yakimansky A.V. Nanosystems: physics, chemistry, mathematics* **12(3)**, 336 (2021).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАРБОКСИЛАТОВ НАТРИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИЛАКТИДА БИМЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Лудин Д.В.¹, Бобрина Е.В.¹, Федюшкин И.Л.^{1,2}

¹*Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина,
г. Нижний Новгород*

²*Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН,
г. Нижний Новгород
dymass@rambler.ru*

Полилактид – один из наиболее перспективных биорезорбируемых полимеров. Интерес к его синтезу обусловлен высоким спросом со стороны биомедицины, поэтому разработка новых каталитических систем для полимеризации с раскрытием цикла (ПРЦ) имеет большое значение и актуальность. Для этой цели нами предложено использовать карбоксилаты натрия (ацетат, пивалат, метакрилат и акрилат). Доступность, устойчивость по отношению к кислороду и влаге воздуха и отсутствие токсического воздействия на живые организмы делает этот класс катализаторов весьма перспективным. Перед началом исследования ПРЦ *L*-лактида, указанные карбоксилаты были изучены методом РСА. По данным анализа, катализаторы ПРЦ имеют структуру координационных полимеров, содержащих молекулы воды (в среднем 3 молекулы воды на молекулу карбоксилата). По данным термогравиметрического анализа, содержание воды в катализаторах составляет от 2.5 до 3 масс. %. Полимеризацию *L*-лактида проводили в расплаве при 110 и 120°C. Скорость ПРЦ практически не зависит от природы катализатора, а определяется лишь соотношением реагентов и температурой. Увеличение последней способствует повышению скорости процесса, но негативно отражается на молекулярно-массовом распределении (ММР). Механизм полимеризации был исследован методами MALDI-TOF и ЯМР-спектроскопии. ПРЦ инициируется за счёт диссоциации карбоксилата в расплаве. Кривые ММР полилактида равномерно смещаются в область больших молекулярных масс с увеличением конверсии, а величина дисперсии (M_w/M_n) не превышает 1.40. Получаемый в присутствии карбоксилатов полилактид способен возобновлять процесс ПРЦ при добавлении новой порции мономера, что подтверждает факт живой анионной полимеризации. Синтезированные образцы полилактида были исследованы на цитотоксичность методом МТТ-теста. Независимо от природы катализатора, образцы полимеров демонстрируют отсутствие цитотоксичности.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства Просвещения РФ (госзадание № 073-00034-23-00).

СИНТЕЗ РАСТВОРИМЫХ ФОРМ ПОЛИАНИЛИНА И ПРИМЕНЕНИЕ ЕГО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АЛКИДНЫХ ПОКРЫТИЙ

Митрофанова Е.В.¹, Орган В.М.¹, Курбатов В.Г.^{1,2}

¹*ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН, отдел полимеров и композиционных материалов, г. Черноголовка*

²*Ярославский государственный технический университет, институт химии и химической технологии, г. Ярославль*
mitrofanova.e.v@ipc.ac.ru

Активно ведутся работы, направленные на получение растворимых проводящих материалов и, в частности полианилина (ПАНи), так как это позволит существенно расширить область их применения. Одним из путей реализации этой задачи является обратнoэмульсионный синтез ПАНи в системах «вода-органический растворитель». Изучение влияния таких факторов как количество и тип кислоты допанта, концентрация поверхностно-активного вещества (ПАВ) и тип дисперсионной среды, а также содержание окислителя является актуальной задачей для оптимизации обратнoэмульсионного синтеза ПАНи.

В качестве органической дисперсионной среды для синтеза использовали: хлороформ, хлористый метилен, толуол и ксилол. В качестве ПАВ использовали сульфанола. Содержание сульфанола в системе варьировалось от 0,65 до 2,6 масс. %. Окислителем служил персульфат аммония.

Изучена кинетика синтеза ПАНи в присутствии различных органических дисперсионных сред. Показано, что увеличение концентрации кислоты-допанта приводит к снижению времени индукционного периода полимеризации, при этом скорость образования ПАНи увеличивается, однако полученный продукт характеризуется меньшей растворимостью. Это обусловлено тем, что меньшее количество молекул сульфанола выступает в качестве допанта. Использование двухфазного синтеза в присутствии ПАВ позволяет значительно снизить тепловыделение при синтезе.

Образование ПАНи при двухфазном синтезе было подтверждено с помощью ИК- и электронной абсорбционной спектроскопии.

На основе полученных растворов ПАНи и алкидных олигомеров, были сформированы покрытия, для которых определили физико-механические и защитные свойства. Показано, что эластичность и твердость покрытий, содержащих ПАНи выше по сравнению с покрытиями на основе исходного алкидного олигомера. Введение ПАНи в покрытия также позволяет повысить противокоррозионные свойства в 3%-ном растворе NaCl.

Благодарности

Работа выполнена по теме № 0074-2019-0014 Государственного задания (№ гос. регистрации АААА-А19-119101590029-0) с использованием оборудования Аналитического центра коллективного пользования ФИЦ ПХФ и МХ РАН.

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА pH-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СОПОЛИФЛУОРЕНОВ, СОДЕРЖАЩИХ ЦИАНИНОВЫЕ КРАСИТЕЛИ

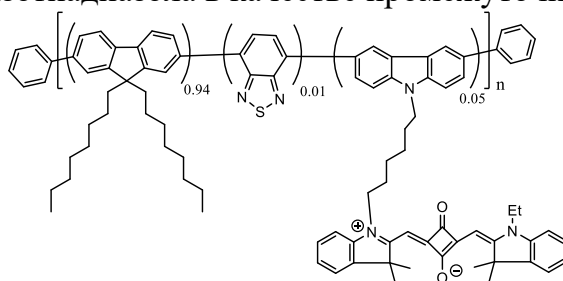
Митрошин А.М., Жукова Е.В., Мильцов С.А., Литвинова Л.С., Якиманский А.В.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
almitroshin51@gmail.com*

Разработка полимерных систем, содержащих в основной или боковой цепи хромофорные фрагменты, вызывает растущий интерес в связи с широким применением подобных материалов в медицине и оптоэлектронике [1-3]. Основными требованиями к внедряемым хромофорам – это хорошая стабильность, возможность гибкой настройки оптических свойств в видимом диапазоне и ближнем ИК, а также pH-чувствительность. Данным требованиям наиболее соответствует класс цианиновых красителей.

Целью настоящей работы является получение сополифлуоренов, содержащих в боковой цепи pH-чувствительные красители.

Нами синтезирован ряд цианиновых красителей, связанных через алкильный спейсер с 3,6-дибромкарбазолом. С помощью реакции поликонденсации по Сузуки были получены сополифлуорены, содержащие разное количество красителя. Так как полоса поглощения хромофоров не накладывается на полосу излучения полифлуорена, для хорошего переноса энергии на краситель в основную цепь был добавлен 1 мол. % бензотиадиазола в качестве промежуточного звена.



Полученные полимеры были охарактеризованы методом гель-проникающей хроматографии, а также были изучены их оптические свойства в растворах и пленках. Исследовано влияние pH на оптические свойства сополифлуоренов, содержащих цианиновые красители.

Список литературы:

- [1] Jenkins R., Burdette M.K., Foulge S.H. RSC Advances **6**, 65459 (2016).
- [2] Gulati L.K., Gulati G.K., Kumar S. Dyes Pigments **199**, 110104 (2022).
- [3] Yahya M., Nural Y., Sefero Z. Dyes Pigments **198**, 109960 (2022).

**ЭПОКСИДНО-АМИННЫЕ КОМПОЗИТЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ
ОКСИДАМИ ЦИРКОНИЯ, КРЕМНИЯ И ТИТАНА**

Могила Т.Н., Михальчук В.М., Лыга Р.И.

*ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк
mr.t.95@mail.ru*

На сегодняшний день разработка новых эпоксидных композитов аминного отверждения является наиболее актуальной, благодаря наличию ряда специфических физико-химических характеристик материалов, полученных на их основе. Золь-гель технология является основным методом получения полимерных нанокомпозитов. Использование такой технологии позволяет обеспечивать высокую чистоту синтезируемого продукта и регулировать его микроструктуру. А использование неорганических наполнителей таких как, оксиды кремния, титана и циркония, позволяет получать уникальные по структуре и свойствам материалы. Целью данной работы было осуществление золь-гель метода получения эпоксидных композитных материалов аминного отверждения, наполненных оксидами циркония, кремния и титана, а также изучение свойств полученных композитов и покрытий на их основе.

Золь-гель методом получены композиты на основе эпоксидно-аминной полимерной матрицы и комбинированных наполнителей ZrO_2/SiO_2 и ZrO_2/TiO_2 , содержание которых составляло от 1 до 10 масс. % при массовых соотношениях оксидов 1:1 и 1:2. Методом малоуглового рассеяния нейтронов установлено, что первичные частицы наполнителя имеют размер 5-6 нм. Эти частицы формируют поверхностно фрактальные агрегаты размером 39 ± 11 нм, которые в свою очередь формируют массово фрактальный каркас в полимерной матрице. Морфологическая структура композита также подтверждается данными просвечивающей электронной микроскопии.

Изучение устойчивости эпоксидно-оксидных композитов к термоокислительной деградации показало, что для систем с равным массовым соотношением ZrO_2 и TiO_2 температура, соответствующая 50%-ной потере массы образцов, сдвигается в сторону больших значений на 16-20 °С. Для композитов с массовым соотношением $ZrO_2:TiO_2$ 1:2 обнаружено снижение скорости деструкции более чем в 2 раза. Введение наполнителя ZrO_2/SiO_2 в состав композитов также приводит к снижению скорости потери массы в процессе неизотермической окислительной деструкции. При этом температура, соответствующая 50%-ной потере массы образцов, сдвигается в сторону больших значений на 27 °С.

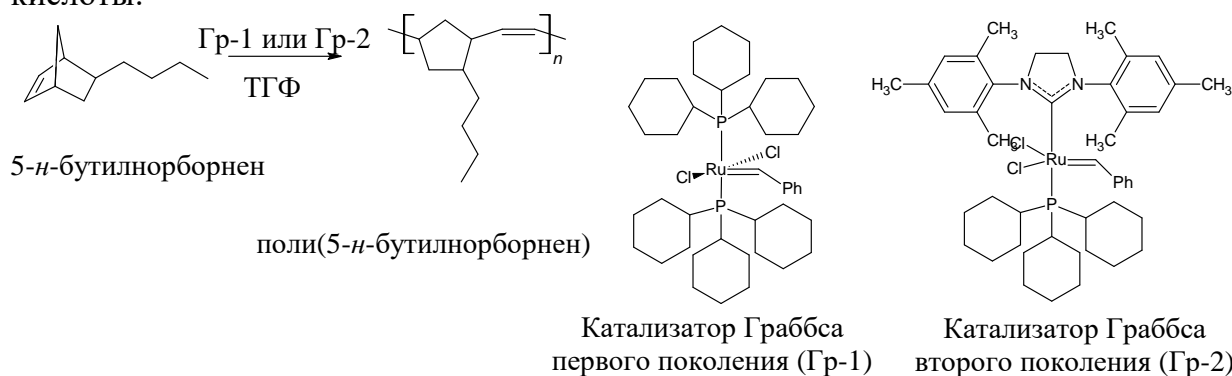
Покрытия на основе синтезированных композитов способны ингибировать электрохимическую коррозию алюминиевого сплава Д16. Установлено, что с увеличением содержания оксидов циркония и титана в эпоксидном покрытии параметры антикоррозионной защиты сплава повышаются. При использовании покрытия, содержащего 6 масс. % ZrO_2 и TiO_2 , антикоррозионное сопротивление увеличилось в 37 раз, а эффективность антикоррозионной защиты достигла 97,3%.

МЕТАТЕЗИСНАЯ ОЛИГОМЕРИЗАЦИЯ 5-*n*-БУТИЛНОРБОРНЕНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ КАТАЛИЗАТОРА ГРАББСА ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ В ПРИСУТСТВИИ ДИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА МАЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ

Садовников К.С., Возняк А.И., Ильин С.О., Моронцев А.А., Жигарев В.А., Бермешев М.В.

*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, г. Москва
morontsev@ips.ac.ru*

Синтетические масла, полученные в результате полимеризации α -олефинов, характеризуются высокой разветвленностью основной цепи, которая приводит к понижению температуры их замерзания [1]. Синтез данных полиолефинов требует либо жестких условий проведения реакции, либо специальных катализаторов. Метатезисная полимеризация позволяет получать продукты различной архитектуры с контролируемой молекулярной массой в мягких условиях. Целью данной работы является исследование возможности синтеза разветвленных олигомеров 5-*n*-бутилнорборнена в результате метатезисной полимеризации алкил-замещенного норборнена по схеме метатезиса с раскрытием цикла в присутствии катализатора Граббса первого и второго поколения. Реакцию проводили в среде ТГФ при различном соотношении исходных реагентов, молекулярную массу контролировали введением диметилового эфира малеиновой кислоты:



Подобраны условия синтеза преимущественного образования димеров, тримеров, тетрамеров и пентамеров 5-*n*-бутилнорборнена. Контроль условий синтеза осуществляли с помощью ^1H DOSY ЯМР-спектроскопии. Структура выделенных олигомеров 5-*n*-бутилнорборнена подтверждена ^1H и ^{13}C ЯМР, а также корреляционными экспериментами ЯМР ^1H - ^1H TOCSY, ^1H - ^{13}C HSQC-DEPT-135 и ^1H - ^{13}C HMBC. Олигомеры 5-*n*-бутилнорборнена охарактеризованы ГПХ, ДСК, ТГА. Определена температура их замерзания, термические и реологические свойства.

Список литературы:

[1] *Nifant'ev I. E., et al. Appl. Catal. A Gen.* **549**, 40 (2018).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (грант РФФ № 23-73-00126).

**СИНТЕЗ НОВЫХ ПОЛИФЕНИЛХИНОЛИНОВ, СОДЕРЖАЩИХ
ДИБЕНЗОТИОФЕНОВЫЕ И ТИОФЕНОВЫЕ ЗВЕНЬЯ**

Мягкова Л.А., Смыслов Р.Ю., Некрасова Т.Н., Нестерова А.С., Попова Е.Н.,
Светличный В.М.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
mila_myagkova@mail.ru*

Ранее осуществлен синтез и исследованы физико-механические, фото- и электрофизические свойства новых 2,6-полифенилхинолинов (ПФХ), содержащих в повторяющемся звене полимера фенилхинолиновые циклы, соединенные кислородной или фениламинной мостиковой группой и алкилированные производные карбазола или индоло[3,2-*b*]карбазола. Показано, что полученные ПФХ могут быть использованы в качестве материалов для оптоэлектроники-полимерных светоизлучающих диодов [1, 2]. В настоящей работе рассмотрена связь химической структуры ПФХ, содержащих фенилхинолиновые, дибензотиофеновые и тиофеновые фрагменты, с фотофизическими и термическими свойствами. При сравнении спектров возбуждения для ПФХ, содержащих кислородную и азотную развязки в фенилхинолиновой группе, наблюдается эффект образования внутримолекулярного комплекса с переносом заряда. Ограничение молекулярной массы ПФХ метилтиофеном указывает на наличие полимерного эффекта и приводит к изменению спектра фотолюминесценции. Новые полифенилхинолины могут представить интерес в качестве фотосенсоров для космических исследований (изучение космических лучей, частиц), полимеры этой структуры имеют высокую тепло- и термостойкость ($T_g = 300-347$ °C, $\tau_5 = 518-595$ °C).

Список литературы:

- [1] Svetlichnyi V.M., Aleksandrova E.L., Matyushina N.V., Myagkova L.A., Nekrasova T.N., Smyslov R.Yu. High Performance Polymers, 1-20 (2017).
[2] Смыслов Р.Ю., Светличный В.М., Матюшина Н.В., Мягкова Л.А., Некрасова Т.Н., Паутов В.Д., Александрова Е.Л. Полимерные композиционные материалы с настраиваемыми координатами цветности фотолюминесценции. Патент РФ №2583267; Заявл. 17.06.2015; Оpubл. 11.03.2016; Бюл. №13 – 6 с.

СИНТЕЗ ПОЛИИМИДНЫХ ПЕНОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЦЕТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ АРОМАТИЧЕСКИХ ДИАМИНОВ И ДИАНГИДРИДОВ

Мягкова Л.А., Иванькова Е.М., Иванов А.Г., Елоховский В.Ю., Попова Е.Н., Литвинова Л.С., Нестерова А.С., Ваганов Г.В., Юдин В.Е., Светличный В.М.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
mila_myagkova@mail.ru*

Метод и механизм синтеза полиимидов на основе низковязких форполимеров – продуктов реакции диангидридов и диацетильных производных ароматических диаминов (ИДА) изучали и использовали для получения связующих полиимидных композиционных материалов [1]. Осуществлен синтез форполимеров в расплаве реакционной смеси, полученных при использовании диацетильных производных четырехядерных соединений: ароматического диамина (4,4-бис(4-аминофеноксидифенилсульфона и диангидридов 1,3-бис(3,4-дикарбоксифеноксидифенил)бензола диангидрид (диангидрид Р) или 2,2'-бис [4-(3,4-дикарбоксифеноксидифенил)пропана диангидрид (диангидрид А) и двухядерных систем – оксидифталевого диангидрида (ДФО) и диацетильных производных 4,4-оксидианилина (ДАДФЭ) или 4,4-диаминодифенилметана (ДАДФМ). Для получения пеноматериалов проведен процесс имидизации синтезированных форполимеров. Пенообразование и возникновение пористой структуры полиимидов происходит вследствие выделения уксусной кислоты при реакции имидизации. Строение пенополиимидов охарактеризовано с использованием метода ИК-спектроскопии. Получены реологические параметры синтезированных форполимеров. Все составы имеют вязкость расплава в пределах 2,0-5,9 Па·с. Структуры полученных пенополиимидов были исследованы методом сканирующей электронной микроскопии и с помощью оптического микроскопа. Получены пористые высокотепло- и термостойкие полиимидные материалы ($T_g = 235-297$ °С, $\tau_5 = 518-558$ °С).

Список литературы:

[1] Светличный В.М., Мягкова Л.А., Нестеров В.В., Бельникевич Н.Г., Гофман И.В., Губанова Г.Н., Юдин В.Е., Костерева Т.А., Панов Ю.Н., Григорьев А.И., Суханова Т.Е., Кудрявцев В.В. Высокомолекулярные соединения **44А(3)**, 373 (2002).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке за счет гранта Российского научного фонда № 23-13-20001, <https://rscf.ru/project/23-13-20001/> и регионального гранта Санкт-Петербургского научного фонда.

МЕТОД ЭЛЕКТРОСПИННИНГА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИМИДСОДЕРЖАЩИХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Нестерова А.С.¹, Диденко А.Л.¹, Ваганов Г.В.¹, Камалов А.М.^{1,2}, Попова Е.Н.¹, Крафт В.Е.^{1,2}, Иванькова Е.М.¹, Юдин В.Е.¹, Кудрявцев В.В.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург
annest.2107@yandex.ru*

Метод электроспиннинга (ЭС) является перспективным способом для формирования нетканых материалов с диаметром волокон от 100 нм до нескольких микрометров из растворов полимеров [1]. Данный метод позволяет получать полиимидные (ПИ) и сополи(уретан-имидные) (СПУИ) нетканые материалы из растворов соответствующих полиамидокислот и сополи(уретан-амидокислот), а также из растворов их солевых производных, что позволяет снизить температуру имидизации до 200 °С. Нетканые ПИ и СПУИ материалы, полученные методом ЭС, находят применение для различных приложений медицины: подложки и аппликаторы для биологических субстратов, лекарственных средств, матриц для клеточных технологий. Данная технология позволяет получить мембранный нетканый материал с различным диаметром волокон и пористостью. Следует отметить, что метод ЭС позволяет получать микроволокна из ПИ, которые не образуют пленки вследствие возникающих внутримолекулярных напряжений, обусловленных химическим строением полиимида, при формировании ПИ структуры в ходе отжига.

В работе получены ПИ и СПУИ нетканые материалы на основе ароматических полиимидов и сополи(уретан-имидов), при этом использовались коммерчески доступные мономеры и методы синтеза, описанные в литературе [2]. СПУИ материалы методом ЭС получены впервые. При получении микроволокна ПИ и СПУИ варьировались: концентрация, составы имидизующей смеси и осадителей. В условиях электропрядения оптимизированы условия электрического напряжения ЭС и скорости вращения приемного барабана. Структуры подтверждалось методом ИК-спектроскопии. Исследование морфологии проводилось методом СЭМ. Оценка термических и механических свойств полученных нетканых материалов проводилась с помощью методов ТГА, ДСК, ДМА, сняты деформационно-прочностные характеристики. Полученные материалы могут быть применены в качестве аппликаторов для экспонирования лекарственных средств и биологически активных веществ, матриц для клеточных технологий.

Список литературы:

[1] Xie J., Wu T., Dai Y., Xia Y. Chemical Reviews **119**(8), 5298 (2019).

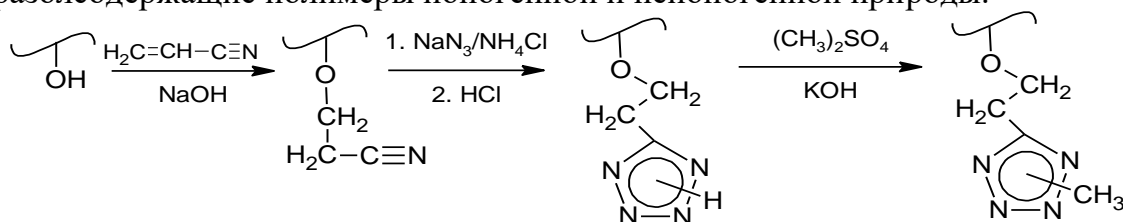
[2] Диденко А.Л., Иванов А.Г., Смирнова В.Е., Ваганов Г.В., Попова Е.Н., Нестерова А.С., Елоховский В.Ю., Светличный В.М., Юдин В.Е., Кудрявцев В.В. Известия академии наук. Серия химическая **72**(6), 1377 (2023).

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ИСКУССТВЕННЫХ ТЕТРАЗОЛСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ДЕКСТРАНА

Покатилов Ф.А., Дерунова Н.И., Кижняев В.Н.

Иркутский государственный университет, г. Иркутск
pokatilov@chem.isu.ru

Последовательной модификацией декстрана синтезированы искусственные тетразолсодержащие полимеры ионогенной и неионогенной природы.



Варьирование условий проведения первой стадии модификации позволило получать цианэтиловые эфиры декстрана с различной степенью замещения (СЗ), при этом максимальная СЗ составила 1.9. При последующей модификации трансформация цианогрупп в тетразолные циклы составила 95%. Производные декстрана, содержащие в своей структуре N-H незамещенные тетразолные циклы проявляют свойства классических полимерных кислот. В ионизованном состоянии способны к неограниченному растворению в воде, однако в не ионизованном состоянии лишь ограниченно совместимы с водными средами, что выражается в способности к сорбции паров воды. Метилирование тетразолных циклов приводит к потере ионогенных свойств у тетразолсодержащих полимеров на основе декстрана. При этом ионогенные и неионогенные полимеры способны растворяться в некоторых органических жидкостях, водных растворах кислот, водно-солевых (вода-роданид аммония, вода-перхлорат лития) и водно-органических средах (вода-ацетон, вода-ацетонитрил, вода-этанол). Показано, что природа гетероцикла влияет на положение концентрационных границ растворимости в водно-органических и водносолевых средах. При этом для N-метилпроизводного тетразолсодержащего декстрана ассортимент органических жидкостей, способных его растворять несколько шире, чем для полимера, содержащего в своей структуре N-H незамещенные циклы. Кроме общих растворителей (ДМФА, ДМСО) N-метильное производное способно растворяться в нитрометане и хлороформе, и набухать в ацетоне, этаноле и дихлорэтаноле. В отличие от ранее известных тетразолсодержащих высокомолекулярных соединений, тетразолилэтиловые эфиры декстрана способны к размягчению. Температура размягчения образцов зависит от природы гетероцикла. Если тетразолилэтиловые эфиры с N-H незамещенным тетразолным циклом размягчаются при 130 °С, то N-метильное производное способно переходить в вязкотекучее состояние уже при 96 °С.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОДОДИСПЕРСИОННЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛНЫМ НИТРАТОМ ГАММА-ЦИКЛОДЕКСТРИНА

Полякова Е.А.¹, Чудмаева Ю.В.², Туманов В.А.³, Войтик А.Е.⁴, Сидельцев М.А.⁴,
Карпов С.В.⁴

¹Липецкий Государственный Технический Университет, г. Липецк

²Мордовский Государственный Университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск

³Ивановский Государственный Университет, г. Иваново

⁴ФИЦ Проблем химической физики и медицинской химии РАН, г. Черноголовка
ekaterina.polyakova697@mail.ru

Для повышения урожайности сельскохозяйственных культур на сегодняшний день широко используются пестициды. Традиционные составы для распыления пестицидов обладают определенными недостатками, такими как высокое содержание органических растворителей плохая диспергируемость и низкая эффективность. Поэтому было предложено использовать экологичные вододисперсионные полиуретаны, которые задерживаются на поверхности растений дольше, за счет более высоких адгезионных сил, и не наносят вред окружающей среде. Для увеличения емкости вододисперсионных полиуретанов по отношению к пестицидам, а также для регулирования кинетики высвобождения было предложено включать циклодекстрины в полимерные цепи полиуретанов. Ранее была показана принципиальная возможность ковалентного включения неполного нитрата бетта-циклодекстрина в полимерную цепь. Нами было выдвинуто предположение о возможности физической модификации вододисперсионных полиуретанов полным нитратом гамма-циклодекстрином.

Целью настоящей работы является исследование влияния полного нитрата гамма-циклодекстрина на свойства вододисперсионных полиуретанов.

В ходе выполнения работы были синтезированы водные дисперсии полиуретанов, содержащие в своем составе 0%, 5% и 15% полного нитрата гамма-циклодекстрина. Таким образом, была показана принципиальная возможность получения вододисперсионных полиуретанов, модифицированных полным нитратом гамма-циклодекстрина. Состав всех полученных соединений был установлен с использованием метода ИК-спектроскопии. С использованием УФ-спектроскопии показано, что в результате введения полного нитрата гамма-циклодекстрина в состав вододисперсионных полиуретанов происходит реорганизация структуры их водных дисперсий, что проявляется в снижении критической концентрации мицеллообразования. С помощью метода динамического рассеяния света было показано, что при введении 5% полного нитрата гамма-циклодекстрина не наблюдается существенного изменения размера частиц, тогда как при добавлении 15% полного нитрата гамма-циклодекстрина происходит уширение распределения частиц по размерам и увеличение среднего размера частиц.

Благодарности

Работа выполнена по теме № 0089-2019-0008 Государственного задания (№ гос. регистрации АААА-А19-119041090087-4).

ЭКОЛОГИЧНЫЙ ПОДХОД К СИНТЕЗУ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ: CO₂ КАК СРЕДА ДЛЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Попова А.А.¹, Шиман Д.И.^{2,3,4}, Черникова Е.В.¹, Будынина Е.М.¹, Костюк С.В.^{2,3,4}, Тимашов П.С.^{1,3}, Голубева Е.Н.^{1,3}

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

³ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России, Москва, Россия

⁴Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Беларусь
nas.popova.04@gmail.com

К классу термочувствительных относят полимеры, претерпевающие фазовый переход в растворах при изменении температуры, сопровождающийся резким изменением растворимости его макромолекул. Термочувствительность, в частности, поли-N-изопропиламида и сополимеров на его основе обуславливает развитие их медицинских применений, такие как создание систем доставки лекарств и подложек для выращивания клеточных пластов [1]. Особый интерес к сверхкритическому диоксиду углерода (скCO₂) как к среде для синтеза вызывает не только упрощение стадий выделения и очистки полимера после синтеза, но и настраиваемость его свойств за счет варьирования параметров полимеризации (Т, р). Так, изменение растворяющей способности скCO₂ при варьировании параметров состояния позволяет влиять на характеристики получаемых полимеров (M_w/M_n [2] и термочувствительность [3]).

В данной работе полимеризация N-изопропилакриламида (НИПАМ) и N-трет-бутилакриламида (НТБАМ) была проведена в скCO₂ в диапазоне параметров Т = 60-82 °С и р = 190-330 бар в рамках свободной и контролируемой радикальной полимеризации с обратимой передачей цепи (ОПЦ). В качестве ОПЦ-агента использован несимметричный тритиокарбонат, содержащий карбоксильную группу, способствующую растворению полимера на начальных конверсиях (2-додецилсульфанилтиокарбонилсульфанил-2-метилпропиновой кислоты). Конверсию мономера определяли методом ЯМР на ядрах ¹Н. Молекулярно-массовые характеристики установлены методом гельпроникающей хроматографии. Методом турбидиметрии оценены нижние критические температуры растворения образцов ПНИПАМ. Обсуждено влияние параметров скCO₂ на физические свойства результирующий полимеров.

Список литературы:

[1] Rwei S.-P., Chuang Y.-Y., Way T.-F., Chiang W.-Y., J. of Applied Polymer Sci., **133(13)**, 1 (2016).

[2] O'Connor P., Yang R., Carroll W. M., Rochev Y., Aldabbagh F., European Polymer Journal **48(7)**, 1279 (2012).

[3] Hu Y., Cao L., Xiao F., Wang J., Polymers for Adv. Techn. **21(6)**, 386 (2010).

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственной программы АААА-А21-121011590090-7.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АКРИЛОВЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ

Репш В.Ю.^{1,2}, Кооль Е.А.^{1,2}, Чурилина Е.В.², Папков В.Н.¹

¹Воронежский филиал «Научно-исследовательский институт синтетического каучука» им. акад. С.В. Лебедева, г. Воронеж

²Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж
repsh.vladislav2016@yandex.ru

Влагопоглощающие композиционные материалы представляют собой гидрофильные трехмерные сетки, образованные химическими или физическими связями. Гидрогели получали осадительной растворной свободнорадикальной полимеризацией, в соответствии с основными идеями описанными авторами в статье [1]. В качестве мономеров использовались: акриловая кислота, акриламид и хитозан. Синтез проводился при температуре 60-70 °С, при интенсивном перемешивании, в течение 30-120 минут. В отличии от технологии, описанной в патенте [2], данный метод имеет существенное влияние на технологию производства суперабсорбентов, исключая стадию отмывки готового продукта от непрореагировавших остатков щелочи. А также увеличивает индукционный период гелеобразования, что способствует значительному снижению гелевого эффекта.

В процессе изучения данной методики было выявлено существенное влияние времени выдержки компонентов при интенсивном перемешивании и заданной температуре реакции. Для сравнения были получены два образца гидрогелей при перемешивании в течение 30 и 120 минут соответственно. Гель с увеличенным временем удержанием в реакторе имел степень набухания 300-350 г/г, а аналогичный гидрогель с уменьшенным временем удержания увеличил свои сорбционные характеристики до 450-500 г/г. Для дальнейших исследований был выбран продукт с оптимальным временем смешения компонентов.

При производстве гидрогелей важное значение имеет количество используемой в процессе синтеза воды. В данной работе были рассмотрены различные концентрации водных растворов мономеров. Исходя из полученных данных при концентрации 10-15% водонабухание варьируется в пределах 450-600 г/г, при 15-20% – водонабухание в пределах 300-450 г/г, при 20-25% – водонабухание в пределах 200-300 г/г. Стоит отметить, что уменьшение количества воды ведет к понижению времени индукционного периода синтеза, в следствии чего повышается теплота гелеобразования.

Список литературы:

- [1] Ильясов Л.О., Панова И.Г., Храбров Н.А., Куцев П.О., Лойко Н. Г., Николаев Ю.А., Ярославов А.А. Высокомолекулярные соединения, Сер. Б **63(6)**, 479 (2021).
[2] Карманова О.В., Тихомиров С.Г., Попов В.Н. [и др.], Способ получения композитного суперабсорбирующего полимера на основе хитозана с улучшенной влагопоглощающей способностью. Пат. № 2763736 С1 РФ, МПК С08F 220/06, С08F 220/56, С08L 5/08. № 2020143920: заявл. 30.12.2020: опубл. 30.12.2021, Бюл. №1. – 6 с.

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА СОПОЛИМЕРОВ БУТАДИЕНА, АКРИЛОНИТРИЛА И ВИНИЛИДЕНХЛОРИДА

Роднянский Д.А., Юрьев А.Н., Папков В.Н.

*ФГБУ «Ордена Ленина и Ордена Трудового Красного Знамени
Научно-исследовательский институт синтетического каучука
им. акад. С.В. Лебедева» Воронежский филиал, г. Воронеж
vfniisk@mail.ru*

Сополимеры бутадиена, акрилонитрила и винилиденхлорида могут рассматриваться в качестве замены хлоропренового каучука для изготовления резинотехнических изделий различного назначения [1-3].

Методом эмульсионной полимеризации были получены образцы тройных сополимеров бутадиена, акрилонитрила (НАК) и винилиденхлорида (ВДХ) СКН-28-ВДХ, содержащие звенья НАК в количестве 27,8-29,5 % масс. и звенья ВДХ в количестве 6-28 % масс. Полимеризацию вели с использованием классической обратимой иницирующей системы «гидропероксид пинана – железо-трилоновый комплекс – ронгалит» при температуре 6-9 °С.

Были определены показатели агрегативной устойчивости латексов, химические характеристики и пласто-эластические свойства сополимеров с разным содержанием звеньев винилиденхлорида.

Физико-механические испытания полученных образцов СКН-28-ВДХ показали, что вулканизаты на их основе превосходят вулканизаты на основе хлоропренового каучука по условной прочности при растяжении, относительному удлинению при разрыве, сопротивлению раздиру и морозостойкости.

Сополимеры бутадиена, акрилонитрила и винилиденхлорида целесообразно испытать в качестве замены композиций хлоропренового и бутадиен-нитрильного каучуков для изготовления атмосферостойких и маслобензостойких резинотехнических изделий.

Список литературы:

[1] *Сигов О.В., Ядреев Ф.И., Марчев Ю.М., Березкин И.Н., Зеленева О.А., Донцов А.А., Лысова Г.А., Морозов Ю.Л., Резниченко С.В.* Патент № 2091403 Российская Федерация, МПК С08F 236/12, С08F 214/08 (2006.01). Способ получения сополимера бутадиена, акрилонитрила и винилиденхлорида. № 94002783/02: заявл. 08.02.1994: опубл. 27.09.1997.: заявитель ВФ ФГУП НИИСК. – 9 с.

[2] *Сигов О.В., Ядреев Ф.И., Филь В.Г., Березкин И. Н., Марчев Ю. М., Кудрявцев Л.Д., Молодыка А.В., Привалов В.А., Болотин О.Г., Климов С.А., Шишов А.К.* Патент № 2076114 Российская Федерация, МПК С08F 214/08, С08F 2/24, С08F 220/44, С08F 236/06 (2006.01). Способ получения сополимера бутадиена, акрилонитрила и винилиденхлорида. № 95113704/04 : заявл. 23.08.1995 : опубл. 27.03.1997, заявитель ВФ ФГУП НИИСК. – 7 с.

[3] *Сигов О.В.* Свойства резин на основе тройных сополимеров бутадиена, акрилонитрила и винилиденхлорида. *Сигов О.В., Донцов А.А., Ядреева Ф.И., Березкин И.Н.* Производство и использование эластомеров. – 1991. – № 2. – С. 16-19.

ПОЛУЧЕНИЕ СУЛЬФОЭТИЛИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ДЕКСТРАНА

Семина А.Ю.^{1,2}, Смирнова М.Ю.¹, Борисенко М.С.¹, Вагин А.А.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Санкт-Петербургский государственный технологический институт,
г. Санкт-Петербург
semanastasia0802@yandex.ru*

Высокая контагиозность вирусов на примере SARS-Cov-19 спровоцировала всплеск исследований, направленных на поиск новых противовирусных препаратов. Было показано, что в осуществление первичного связывания многих вирусов с клеткой вовлечены компоненты клеточной мембраны, находящиеся на поверхности вирусных частиц. Контакт вируса с первичными рецепторами необходим для последующего прочного взаимодействия с рецептором/корцептором, специфичным для разных вирусов [1]. Таким образом, поиск эффективных ингибиторов, подавляющих взаимодействие вирусов с гепарансульфатами, расположенными на клеточной мембране, является актуальной задачей, решение которой может привести к созданию препарата широкого спектра действия, эффективного в отношении различных групп патогенных вирусов, использующих гепарансульфаты в качестве первичных неспецифических рецепторов.

В работе в качестве потенциальных ингибиторов предложены сульфэтилированные производные декстрана. Степень сульфатирования полисахарида будет оказывать значительное влияние на уровень противовирусной активности. Поэтому целью работы является синтез и исследование сульфэтилированных производных декстрана с различной степенью замещения.

Синтез образцов проводили в среде вода-изопропанол (1:1) с добавлением 20%-ного раствора щелочи при 80°C в течение 4-х часов. Очищенный диализом сульфэтилированный продукт был проанализирован методами тонкослойной хроматографии, элементного анализа, ИК- и ¹H и ¹³C ЯМР-спектроскопии. На ИК-спектрах сульфэтилированного производного декстрана наблюдаются характеристические полосы поглощения валентных колебаний связей С-О-С глюкопиранозного кольца, а также гликозидных связей при 1150 см⁻¹, характерных для декстрана, а также проявление характеристических полос поглощения связей S-C при 582 см⁻¹, отсутствующих в исходном декстране.

По данным ¹H ЯМР-спектроскопии степень замещения гидроксильных групп составила 40%, что согласуется с результатами элементного анализа.

Список литературы:

[1] Ballauff M. et al. *Angewandte Chemie, International Edition* **60(29)**, 15870 (2021).

Благодарности

Тонкослойная хроматография синтезированных образцов проводилась в аналитической лаборатории ИВС РАН. Авторы выражают искреннюю благодарность научному сотруднику лаборатории, к.х.н. И. И. Малаховой.

ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ ОПЦ-АГЕНТА НА ПОЛИМЕРИЗАЦИЮ ПРОТОНИРОВАННЫХ ДИАЛЛИЛАММОНИЕВЫХ МОНОМЕРОВ, ПРОТЕКАЮЩЕЙ С ЭФФЕКТИВНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ЦЕПИ НА МОНОМЕР

Симонова Ю.А.¹, Еременко И.В.¹, Топчий М.А.¹, Бондаренко Г.Н.¹,
Филатова М.П.¹, Евлампиева Н.П.², Тимофеева Л.М.¹

¹*Институт нефтехимического синтеза РАН, г. Москва*

²*Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет,
г. Санкт-Петербург
simonova@ips.ac.ru*

Интерес к процессам получения протонированных полидиаллиламинов (ПДАА) [1, 2] связан с сильными антимикробными свойствами этих полимеров относительно широкого круга больничных патогенов, в отличие от их кватернизованных аналогов [3]. Перспектива создания на основе протонированных ПДАА новых эффективных бактерицидных материалов ставит вопрос об управлении процессом радикальной полимеризации с целью получения полимеров с достаточно узким ММР. Добиться этого удалось с помощью метода полимеризации с обратимой передачей цепи по механизму присоединения-фрагментации (ОПЦ). В представленной работе исследуется определяющее влияние ОПЦ-агента на полимеризацию протонированного мономера - трифторацетата диаллиламмония (ДААТФА), протекающей с эффективной передачей цепи на мономер, которая в значительной степени управляет процессом, заметно определяя величину ММ и полидисперсность полимеров [1, 2]. В присутствии ОПЦ-агента направление процесса в полимеризации ДААТФА определяется конкурентоспособностью двух возможных реакций передачи цепи: эффективной передачей цепи на мономер и обратимой передачей цепи, осуществляемой ОПЦ-агентом. Задачей исследования было кинетически подавить эффективную передачу цепи на мономер взаимодействием макрорадикала с ОПЦ-агентом, и получить полимер с достаточно узким ММР. В результате исследования продуктов методами ЯМР и ИК-Фурье спектроскопии, гидродинамики и светорассеяния показано, что эффективная передача цепи на мономер может быть кинетически подавлена ОПЦ-агентом при определенных условиях [4]. В этих условиях ОПЦ-агент контролирует получение полимера с достаточно узким ММР и небольшой ММ [4].

Список литературы:

- [1] *Timofeeva L.M., Klescheva N.A., Vasilieva Yu.A., Gromova G.L., Timofeeva G.I., Filatova M.P. Polym. Sci., Ser. A. 47, 551 (2005).*
- [2] *Simonova Y.A., Filatova M.P., Timofeeva L.M. Polym. Sci., Ser. B. 60, 445 (2018).*
- [3] *Timofeeva L.M., Klescheva N.A., Shleeva M.O., Filatova M.P., Simonova Yu.A., Ermakov Yu.A., Kaprelyants A.S. Appl. Microbiol. Biotechnol. 99, 2557 (2015).*
- [4] *Simonova Yu.A., Topchiy M.A., Filatova M.P., Yevlampieva N.P., Slyusarenko M.A., Bondarenko G.N., Asachenko A.F., Nechaev M.S., Timofeeva L.M. Eur. Polym. J. 122, 109363 (2020).*

УЛЬТРАМИКРОПОРИСТЫЕ ПОЛИФЕНИЛЕНЫ С ВАРЬИРУЕМЫМ РАЗМЕРОМ ПОР И ПЛОЩАДЬЮ ПОВЕРХНОСТИ

Сорокина С.А.¹, Кучкина Н.В.¹, Михальченко А.В.¹, Скупов К.М.¹, Шифрина З.Б.¹

¹*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,
г. Москва
sorok.svetlana@gmail.com*

Разработка новых органических микропористых полимеров вызывает значительный интерес исследователей последнее десятилетие, благодаря большому разнообразию потенциальных применений, включая процессы хранения и разделения газов, фотовольтаику, создание химических сенсоров и катализ [1]. Однако, большинство работ сосредоточено на создании нерастворимых полимеров, чья высокая площадь поверхности достигается за счет ковалентного связывания строительных блоков, обладающих жесткой структурой, и формирования сетки. Такие полимеры, как правило, обладают развитой площадью поверхности, однако, процессы их переработки и формирования материалов затруднены из-за нерастворимости в органических растворителях. В то же время подходы к синтезу растворимых полимеров с большой площадью поверхности и однородной микропористостью в настоящее время довольно ограничены.

В настоящей работе разработан новый подход к синтезу микропористых полимеров, обладающих высокой площадью поверхности, путем поликонденсации по реакции Дильса-Альдера двух пространственно-затрудненных мономеров [2]. Полученные полимеры были растворимы в типичных органических растворителях: хлористом метиле, тетрагидрофуране, о-ксилоле и др. Данные адсорбции-десорбции N₂ и CO₂ показали, что параметры пористости, такие как площадь поверхности и размеры пор, могут быть варьированы заданным образом, в зависимости от условий синтеза и типа использованных мономеров. Так, варьируя тип этинилсодержащего мономера (три- или тетра-разветвленный мономер), удалось синтезировать полифенилены с ультрамикропористой структурой (размер пор ≤ 0.6 нм), равномерным распределением пор по размерам и площадью поверхности 750 м²/г.

Список литературы:

[1] *Mohamed M.G., EL-Mahdy A.F.M., Kotra M.G., Kuo S.W. Materials Adv. 3, 707 (2022).*

[2] *Sorokina S.A., Kuchkina N.V., Mikhailchenko A.V., Krasnova I.Yu, Khanin D.A., Skupov K.M., Shifrina Z.B Polymers 15(9), 2060 (2023).*

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-73-00087.

СОПОЛИМЕРЫ 4-ВИНИЛПИРИДИНА С N,N-ДИМЕТИЛАМИНОЭТИЛМЕТАКРИЛАТОМ КАК МАТРИЦА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА

Сундарева Ю.А.¹, Амарантов С.В.², Ковылин Р.С.¹, Пикулин А.В.³,
Саломатина Е.В.¹, Смирнова Л.А.¹

¹*Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород*

²*ФНИЦ "Кристаллография и фотоника" Институт кристаллографии
им. А.В. Шубникова РАН, г. Москва*

³*Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород
salomatina_ev@mail.ru*

Одним из наиболее удобных и эффективных подходов к созданию агрегативно устойчивых нанокомпозитов является синтез наночастиц (НЧ) в среде полимера-стабилизатора. Перспективными в этом отношении являются полимеры, содержащие amino-группы, так как их макромолекулы могут одновременно играть роль как стабилизаторов, так и восстанавливающих агентов. Целью работы явилось исследование влияния состава сополимеров 4-винилпиридина (4ВП) с N,N-диметиламиноэтилметакрилатом (ДМАЭМА) на закономерности формирования и размерные характеристики НЧ золота; изучение свойств нанокомпозитов. Сополимеры 4ВП с ДМАЭМА различного состава получены методом радикальной полимеризации в массе. Относительные активности мономеров составили $r_{4ВП} = 0.76$ и $r_{ДМАЭМА} = 0,38$. Сополимеры использованы как стабилизаторы при получении НЧ Au в их растворах и пленках при термическом и УФ-восстановлении $HAuCl_4$. Процесс формирования НЧ контролировали спектрофотометически. В растворах поли(ДМАЭМА) образование НЧ Au происходит с большей скоростью, чем в растворах поли(4ВП) и их сополимеров. При этом в спектре раствора поли(4ВП) наблюдается снижение интенсивности полосы поглощения $HAuCl_4$ (290 нм), однако отсутствует полоса плазмонного резонанса НЧ Au (500-550 нм), но появляется люминесценция на $\lambda \sim 400$ нм. Это свидетельствует об образовании атомарного Au и его кластерных структур размером менее 2 нм. Причина этого кроется в комплексообразовании между пиридиновым кольцом и $HAuCl_4$, являющейся сильной кислотой. С течением времени комплекс разрушается, и кластеры Au в сополимерах собираются в НЧ, размеры которых определены методами рассеяния рентгеновских лучей на малых углах и сканирующей электронной микроскопии. При повышении содержания в сополимере звеньев 4ВП выявлено увеличение доли НЧ с размером от 15 до 40 нм, что является следствием изменения плотности сополимеров при этом. Таким образом, состав сополимера 4ВП с ДМАЭМА обеспечивает контроль как над процессом формирования НЧ Au, так и их размерными характеристиками. Более того, введение НЧ Au в состав (со)полимеров снижает прочность композитов в 1,5 раза, температуру стеклования на 10-20 °С, а деформацию при разрыве увеличивает в 2-3 раза по сравнению с полимерной матрицей.

Благодарности Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-74-10069).

СИНТЕЗ ИОНПРОВОДЯЩИХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ МЕТОДОМ ОПЦ-ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Сылко Д.Н.^{1,2}, Понкратов Д.О.², Малышкина И.А.¹, Лозинская Е.И.²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, г. Москва
d.sylko2003@mail.ru

Бурное развитие портативной электроники и электротранспорта требует компактных источников питания. Полимеры с подвижными зарядами одного типа (single-ion conducting polymers, SICPs) являются перспективной заменой электролитов для литий-ионных аккумуляторов на основе растворов солей в органических растворителях [1-3]. Преимущества SICPs: высокая ионная селективность ($t_{Li^+} \approx 1$), устойчивость к росту дендритов лития, электрохимическая стабильность >4 В. Недостаток SICPs: низкая ионная проводимость ($10^{-7} \div 10^{-5}$ См/см, 25°C). Переход к сополимерам блочного строения даёт возможность создавать материалы с ионной проводимостью и плёнообразующими свойствами одновременно. Блок-сополимеры, в которых один из блоков представляет собой нейтральный сегмент с индановыми боковыми группами, а второй – полианион с противоионами лития (рис.1), синтезированы методом ОПЦ-сополимеризации. Несовместимость блоков приводит к микрофазовому расслоению и упорядочению системы. Данные АСМ свидетельствуют о формировании ламеллярной структуры с межплоскостным расстоянием $d = 43.5 \pm 8.5$ нм. Выбор структуры блок-сополимеров, диапазон их молекулярных масс $M_{(ЯМР)} = 62\text{--}71$ кДа и массовое соотношение ионогенных и неионогенных блоков $M_{И}/M_{Н} = 1.92\text{--}2.18$ позволили улучшить механические свойства полиэлектролита при сохранении величины ионной проводимости исходного полианиона ($\sigma \approx 1.5 \times 10^{-7}$ См/см, 25°C).

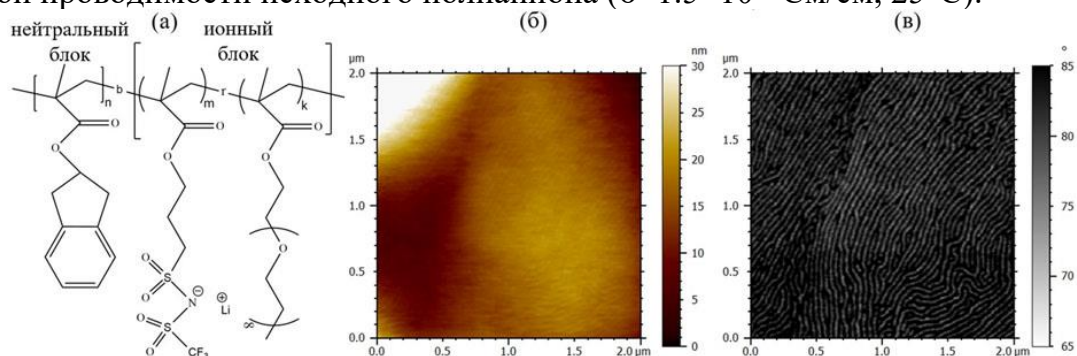


Рис.1 - Структура блок-сополимера (а), АСМ-изображения: рельеф (б) и фаза (в).

Список литературы:

- [1] Gao J., Wang C., Han D.-W., Shin D.-M. Chem. Sci., **12**, 13248 (2021).
- [2] Armand M., Axmann P., Bresser D., et al. J. Power Sources, **479**, 10 (2020).
- [3] Шаплов А.С., Понкратов Д.О., Выгодский Я.С. Высокомогл. соединения, сер. Б., **58** (2), 63 (2016).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 21-13-00173).

ВЛИЯНИЕ АЛКОГОЛЯТОВ ЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА СИНТЕЗ БУТАДИЕН- СТИРОЛЬНЫХ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВ

Фирсова А.В., Полухин Е.Л., Антман Е.И., Хлабыстов Е.Д.

*Воронежский филиал ФГБУ «Научно-исследовательский институт
синтетического каучука» им. С.В. Лебедева, г. Воронеж
firsova_alen@mail.ru*

Известно, что иницирующие системы на основе смешанных алкоголятов щелочных и щелочноземельных металлов в сочетании с *n*-бутиллитием (*n*-BuLi) позволяют получать полибутадиен, полиизопрен, сополимеры бутадиена со стиролом различной микроструктуры [1]. При этом, при введении в состав иницирующей системы алкоголятов тех или иных металлов можно управлять такими показателями как: содержание 1,2-, 1,4-цис и 1,4-транс звеньев, константы сополимеризации, гелеобразование, полидисперсность, скорость полимеризации [2]. Действие модификатора вызвано изменением характера взаимодействия противоиона к аниону металлоорганического соединения, частичным переметаллированием лития на более активный металл и координацией электронодонорных групп к противоиону. Однако влияние описанных соединений на процесс синтеза термоэластопластов в достаточной мере не изучалось. Особенность процесса синтеза блок-сополимеров состоит в последовательной полимеризации мономеров, при этом эффект, возникающий при введении алкоголятов, может быть различным на каждой стадии процесса.

Синтез разветвленных термоэластопластов (ДСТ-30Р) проводили с использованием *n*-BuLi, тетрагидрофурана (ТГФ) и серийного модификатора М-5К, производимого на опытном заводе В.ф. ФГБУ «НИИСК», представляющего собой Na, K, Ca и Ba алкоголят высококипящих спиртов. В качестве сочетающих агентов применялись алкоксисиланы. Иницирующая система вводилась на первой стадии синтеза полистирольного блока, при этом удалось уменьшить дозировку полярной добавки ТГФ более чем в 2 раза, являющимся бионеразлагаемым соединением, попадающим в сточные воды после дегазации. Выявлено, что наибольшее влияние модификатор оказывает на эластичный блок, определяя его микроструктуру. Найдено, что в выбранном интервале дозровок М-5К доля 1,2-звеньев увеличилась незначительно, при этом содержание 1,4-цис возросло, что заметно снизило температуру стеклования, увеличив возможности применения данных ТЭП при более низких температурах.

Установлено, что применение модификатора М-5К приводит к увеличению скорости образования активных центров полистириллития, т.е. скорость иницирования сравнима со скоростью роста и как следствие быстрое иницирование бутадиена и общее увеличение скорости процесса в 1,5-2 раза. Уменьшение времени процесса приводит к экономии энергоресурсов. Наряду с этим использование модификатора приводит к подавлению процессов гелеобразования в периодическом процессе получения термоэластопластов.

Список литературы:

[1] Глуховской В.С., Литвин Ю.А., Ситникова В.В., Блинов Е.В., Вагизов А.М., Ахметов И.Г., Сахабутдинов А.Г. Нижнекамск (2016). 35-36.

[2] Аксёнов В.И. Производство и использование эластомеров. 3, 3 (2018).

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО ЛИТИЕВОГО ПОЛИИЗОПРЕНА НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛ-АЛКОГОЛЯТНОГО КАТАЛИТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Брызгунова Е.Ю., Василевская А.Ю., Фирсова А.В., Полухин Е.Л.

*Воронежский филиал ФГБУ «Научно-исследовательский институт синтетического каучука» им. С.В. Лебедева, г. Воронеж
firsova_alen@mail.ru*

Целью данной работы является получение модифицированного литиевого полиизопрена на основе металл-алкоголятных каталитических систем и исследование свойств вулканизатов на его основе.

Для получения модифицированного литиевого полиизопрена впервые была применена новая каталитическая система на основе н-бутиллития и модификатора с высоким содержанием стронция (M-5-Sr). Модификатор M-5-Sr представляет собой полифункциональный полиметаллический алкогольят с высоким содержанием стронция. При использовании данного модификатора в каталитической системе снижается расход н-бутиллития, затраченного на полимеризацию, а также сближаются константы сополимеризации используемых в системе сомономеров. В В.ф. ФГБУ «НИИСК» проводились исследования с модификатором M-5 в процессах сополимеризации винилароматических соединений. Установлено, что данный модификатор приводит к подавлению гелеобразования и является эффективной антигелевой добавкой [1]. Использование модификатора M-5-Sr в составе иницирующей системы позволяет получить сополимер с полной конверсией мономеров, со статистическим распределением мономерных звеньев в полимерной цепи, что подтверждается данными ИК и ЯМР спектров. Так же наблюдается эффект подавления гелеобразования. Установлено, что стронций в составе модификатора способствует образованию сополимера со следующим распределением звеньев: 1,4-цис- 21-57%; 1,4-транс- 26-37%; 3,4- 11-37%; 1,2- 0-9% – в зависимости от соотношений компонентов иницирующей системы. Каучук на основе полиизопрена проанализирован на дифференциальном сканирующем калориметре DSC 8500 фирмы Perkin Elmer и испытан по стандартной рецептуре (ГОСТ ISO 2303-2013). Установлено, что значения температуры стеклования полученных марок СКИ-М варьируются от -24°C до -35°C. Эластичность по отскоку находится в пределах 59-60% при н.у., твердость по Шору в интервале 55-57 усл. ед., показатель сопротивления раздиру соответствует 56-57 кН/м. Отмечено, что значения динамических характеристик СКИ-М, а именно значения сопротивления многократному растяжению при 100% деформации, находятся в промежутке 321-335 тыс. циклов у вулканизатов на основе модифицированного каучука.

Таким образом, исследована стереорегулирующая способность модификатора M-5-Sr, способствующего получению полиизопрена с высокими физико-механическими свойствами вулканизатов.

Список литературы:

[1] Глуховской В.С., Папков В.Н., Бердников В.В., Фирсова А.В., Комаров Е.В., Земский Д.Н. Промышленное производство и использование эластомеров **3-4**, 14 (2020).

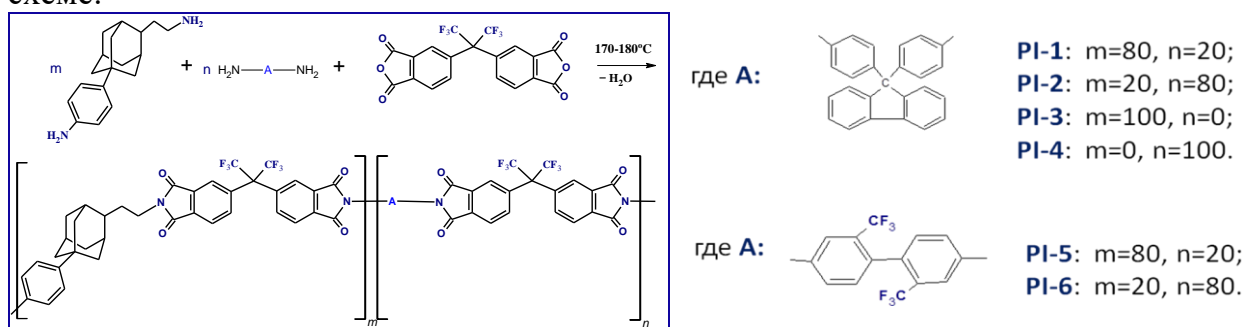
СИНТЕЗ ПРОЗРАЧНЫХ ПОЛИИМИДОВ МЕТОДОМ ОДНОСТАДИЙНОЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОЛИЦИКЛИЗАЦИИ В РАСТВОРЕ

Шалыпина В.С., Наход М.А.

*Волгоградский государственный технический университет,
химико-технологический факультет, г. Волгоград
onede98@gmail.com*

Полиимиды относятся к классу термостойких полимеров, отличающихся высокой термостойкостью, превосходными механическими и диэлектрическими свойствами. Тем не менее, обычные полиимиды демонстрируют интенсивную окраску из-за электронного сопряжения и образования комплекса меж- и внутримолекулярного переноса заряда (СТС), что затрудняет их применение в качестве оптических пленок. Окраска полиимидов может быть уменьшена путем изменения структуры мономеров. Эффективные подходы к получению бесцветных полиимидов (CPI) включают введение фторированных сегментов, алициклических звеньев, объемных заместителей. В связи с этим, актуальной задачей является поиск новых мономерных структур и совершенствование условий синтеза полиимидов.

Методом одностадийной полициклизации в растворе был получен ряд (co)полиимидов на основе адамантансодержащих и ароматических диаминов и 4,4'-(гексафторизопропилиден) дифталевого ангидрида (6FDA) по следующей схеме:



Для улучшения условий синтеза и свойств полученных полимеров использовали катализатор изохинолин, а в качестве растворителей смесь 1,2-дихлорбензол: толуол в соотношении 80:20 соответственно. Такая система является подходящей для получения полиимидов с высокими эксплуатационными характеристиками.

В результате синтеза методом высокотемпературной полициклизации в растворе с катализатором был получен ряд прозрачных (co)полиимидов. Пленки получали из 13% раствора полимера в 2Me-THF. Данные полимеры обладают повышенной растворимостью (DMSO, DMF, NMP, ацетон) высокой прозрачностью и низкой диэлектрической проницаемостью, что позволяет расширить области их применения.

Список литературы:

[1] C. Simone, E. Vaccaro, D. Scola. The Synthesis and Characterization of Highly Fluorinated Aromatic Polyimides. J. Fluor. Chem., 224 (2019).

1-Р-48

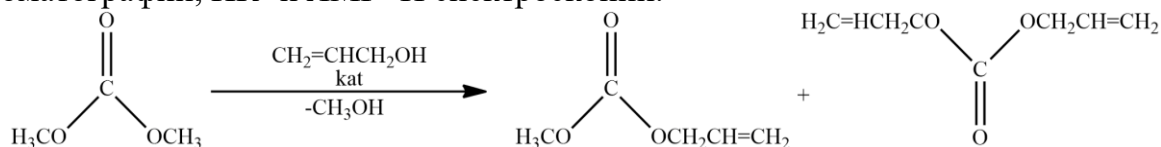
ПОЛУЧЕНИЕ АЛЛИЛСОДЕРЖАЩИХ КАРБОНАТОВ И ИХ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ

Шамагулова К.А.^{1,2}, Пестов А.В.^{1,2}

¹Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН,
г. Екатеринбург

²Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
kshamagulova@gmail.com

В последние десятилетия научные и промышленные интересы в области полимеров значительно возросли. В частности, большой интерес представляют полимеры на основе аллилсодержащих соединений. По своей природе они полимеризуются по радикальному механизму с образованием олигомеров [1,2]. Эти вещества обладают высокой прочностью, устойчивостью к ударам и изгибам, а также хорошей термостойкостью, что позволяет применять их в различных областях, требующих высокую надежность и долговечность. Однако, несмотря на всю ценность свойств этих материалов, полимеризация аллилсодержащих карбонатов не исследована в достаточной мере. Таким образом, целью работы является разработка метода синтеза метилаллилкарбоната и диаллилкарбоната путем переэтерификации коммерческого диметилкарбоната аллиловым спиртом для оценки возможности их полимеризации. Состав и строение полученных карбонатов подтверждали данными элементного анализа, газо-жидкостной хроматографии, ИК- и ЯМР ¹H спектроскопии.



В литературе описаны методы полимеризации аллилового спирта и N,N-диметил, N,N-диаллиламмоний хлорида [3]. Опираясь на эти данные, оценили полимеризацию диаллилкарбоната и метилаллилкарбоната в растворе и в массе мономера при УФ- и термическом иницировании. Показано, что диаллилкарбонат подвергается полимеризации в отличие от метилаллилкарбоната при использовании в качестве инициатора динитрил азобисизомаэляной кислоты. Состав и строение продуктов полимеризации характеризовали данными элементного анализа, термогравиметрии, ИК- и ЯМР ¹H спектроскопии.

Список литературы:

- [1] Миславский Б. В., Булгакова Л. М., Мастерова Н. М., Михантьев В. Б., Зубов В. П. Вестник МГУ **27(3)**, 309 (1986).
- [2] Кабанов В. А., Зубов В. П., Семчиков Ю. Д. Комплексно-радикальная полимеризация. М.: Химия, 1987.
- [3] Воробьева А. И., Прочухан Ю. А., Монаков Ю. Б. Высокомолекулярные соединения **45(12)**, 2118 (2003).

СПИНОВЫЕ ЛОВУШКИ В РЕАКЦИЯХ СОЧЕТАНИЯ БРОМСОДЕРЖАЩЕГО ПОЛИСТИРОЛА В ПРИСУТСТВИИ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕДИ(II) И РАЗЛИЧНЫХ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ

Шоипова Ф.Х., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф.

¹*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, химический факультет, г. Нижний Новгород
fatimahs@mail.ru*

Радикальной полимеризацией с переносом атома (Atom Transfer Radical Polymerization - ATRP) можно получать полимеры различного строения [1]. На основе продуктов ATRP в присутствии металлов переменной валентности реализованы полимераналогичные превращения с участием спиновых ловушек. Это так называемый процесс Radical Trap-Assisted Atom Transfer Radical Coupling (RTA-ATRC), который обеспечивает более высокую степень связывания. RTA-ATRC позволяет получать высокомолекулярные алкоксиамины (ВАА) с симметричным строением, которые способны принимать участие в последующем постепенном росте полимерной цепи при присоединении мономера.

Классический процесс сочетания полимерных звеньев по технологии RTA-ATRC основан на использовании неустойчивого на воздухе CuBr(I) в качестве основного катализатора и Cu(0) в качестве восстановителя [2]. Современный прогресс в развитии методологии RTA-ATRC может быть связан с использованием стабильного CuBr_2 и различных восстановителей. В качестве восстановителей CuBr_2 нами использовались аскорбиновая кислота, изоаскорбат натрия, глюкоза, дитионит натрия. Для формирования ВАА нами предложен ряд источников нитроксильных радикалов: моно- и динитроны. Продукты сочетания получали при следующем эффективном соотношении компонентов в среде тетрагидрофурана при температуре синтеза $80\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 2 часов: $[\text{ПС}]:[\text{ПМДЭТА}]:[\text{CuBr}_2]:[\text{восстановитель}]:[\text{спиновая ловушка}]=1:5:2,5:2,5:5$. Показано, что наибольшая степень сочетания гомополистирола около 0,7–0,9 реализуется в случае использования таких восстановителей, как аскорбиновая кислота и глюкоза, а также источников нитроксильных радикалов: С-фенил-N-метилнитрона, С-фенил-N-трет-бутилнитрона, С,N-дифенилнитрона, N,N-ди-трет-бутилглиоксальдинитрона, N,N-дифенилглиоксальдинитрона. Включение нитроксильного фрагмента в структуру продукта сочетания полимера (формирование ВАА) доказано в условиях термической деструкции при $130\text{ }^\circ\text{C}$ и деструкции под действием ультрафиолетового облучения в тетрагидрофуране.

Список литературы:

- [1] *Lorandi F., Fantin M., Matyjaszewski K. J. Am. Chem. Soc. 144(34), 15413 (2022).*
[2] *Колякина Е.В., Шоипова Ф.Х., Гришин Д.Ф. Высокомолекулярные соединения. Сер. Б. 64 (4), 243 (2022).*

**ВОДОРАСТВОРИМЫЕ КОМПЛЕКСЫ ФУЛЛЕРЕНА C₆₀
С ТРИБРОМОТИОФЕНОМ И ПОЛИ-N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНОМ**

Белобржецкая Л.Н.¹, Лисовская Л.И.², Лебедев В.Т.²

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова,
НИЦ КИ, г. Гатчина, Ленинградская обл.
larbelkosta@yandex.ru*

Впервые синтезированы комплексы фуллерена C₆₀ и трибромотиофеном, стабилизированные поли-N-винилпирролидоном (ММ = 9500), для последующих биомедицинских применений в тераностике, используя сильно выраженную способность C₆₀ дезактивировать свободные радикалы, и служить эффективным фотосенсибилизатором для фотодинамической терапии. Введение в комплекс трибромотиофена позволило увеличить концентрацию фуллеренов в конечном продукте втрое в сравнении с известными бинарными комплексами C₆₀-поли-N-винилпирролидон, где она обычно не превышает 1 % масс. Тройной комплекс является водорастворимым, и в спектре оптического поглощения раствора детектируется характерная полоса фуллерена (~340 нм). Разработан двухстадийный метод синтеза комплекса, включая получение бинарного комплекса C₆₀-трибромотиофен в среде межфазного катализатора с последующим добавлением поли-N-винилпирролидона, полным удалением растворителя и растворением сухого остатка в воде. Нерастворимый в воде фуллерен переводился в водный раствор путем модификации поверхности фуллерена более полярным трибромотиофеном с присоединением комплекса C₆₀-трибромотиофен к поли-N-винилпирролидону в результате донорно-акцепторного взаимодействия [1].

Список литературы:

[1] *Lebedev V., Torok Gy., Cser L., Len A., Orlova D., Zgonnik V., Melenevskaya E., Vinogradova L., Treimer W. J. Appl. Cryst. 36, 646-648 (2003).*

1-P-51

ЭЛЕКТРОННЫЙ ТЕКСТИЛЬ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПОЛИМЕРОВ

Король Т.А.¹, Шишов М.А.², Щербаков А.Е.³

¹*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна*

²*Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург*

³*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
Shv_misha@mail.ru*

Разрабатываемый в настоящее время электронный текстиль, наряду с традиционной защитой человеческого тела может выполнять дополнительные функции: мониторинга состояния человека и окружающей среды, накопления и сохранения энергии, передачи информации. Электропроводящие полимеры, являясь органическими полупроводниками, способны придать текстилю комплекс новых свойств, таких как электропроводность, включая электронную и ионную ее составляющую, окислительно-восстановительную емкость, электрохромный и электромеханический эффекты. Это позволяет гармонично включать в текстиль различные электронные устройства на основе электропроводящих полимеров, сохраняя при этом биосовместимость и тактильные свойства материалов.

В данной работе электронный текстиль (Т-РРy) получен путем иммобилизации электропроводящего полипиррола (РРy) на разные виды коммерческого тканого синтетического, целлюлозного и смесового текстиля (Т). В зависимости от вида текстиля содержание РРy в диапазоне 6 -12% веса. Данные оптической и электронной микроскопии свидетельствуют, что РРy в виде непрерывного слоя локализуется на поверхности индивидуальных волокон Т, формируя протяженную перколяционную сеть. Электрическое сопротивление исходного текстиля снижается на 7-10 порядков и соответствует значениям 200 – 10 Ом/квadrat. Исследованы вольт-амперные характеристики материалов в сухом состоянии в диапазоне ± 15 В и циклические вольт-амперограммы материалов, увлажненных физраствором в интервале ± 1 В. Показана высокая стабильность материалов при продолжительном циклировании потенциала, а также наличие у Т-РРy электрохимической емкости в пределах единиц $\Phi/\text{см}^2$

Механические свойства Т-РРy близки к таковым для исходного текстиля при незначительном увеличении жесткости и снижении эластичности тканых материалов. Во всех случаях Иммобилизация РРy приводила к повышению гидрофильности и капиллярного эффекта материалов за счет гидрофильности и нанопористости слоя РРy нанесенных на поверхность Т.

СЕКЦИЯ 2
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ И
ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА СИНТЕЗИРОВАННОГО В УСЛОВИЯХ СВС ПРОЦЕССА В КАЧЕСТВЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ ПРИ СОЗДАНИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Возняковский А.А.¹, Возняковский А.П.¹, Подложюк Н.Д.¹, Кидалов С.В.,
Титова С.И.^{1,2}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург

²ФГБУ “НИИСК”, г. Санкт-Петербург
alexey_inform@mail.ru

Графеновые наноструктуры, в частности, малослойный графен (МГ), за счет своих рекордных характеристик, активно используются исследователями в качестве модифицирующих добавок для повышения свойств полимерных композитов. Однако, из-за несовершенства методик синтеза МГ, его себестоимость остается слишком высокой для промышленного применения.

Для решения данной проблемы нами была разработана новая методика синтеза больших объемов МГ высокого качества с приемлемой себестоимостью из биополимеров циклического строения (в т.ч. из отходов деревообрабатывающей промышленности таких как лигнин, кора деревьев и т.д.) в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). На данный момент развернуто лабораторное производство мощностью до 10 кг/мес.

Было установлено, что позволяет значительно повысить прочностные (прочность при разрыве до 67%, сопротивление раздиру до 58%), триботехнические свойства (падение коэффициента трения до 3 раз) и теплопроводность (до 2 раз) полимерной матрицы бутадиен-нитрильного каучука [1]. Также было установлено, что введение в объем полимерной матрицы МГ привело к расширению области температур работоспособности до практически важной температуры в 125°C.

МГ также показал высокую эффективность при создании изделий DLP методом 3D печати [2]. Используя не более 2 масс. % МГ, удалось повысить твердость изделий, полученных DLP методом 3D печати на 120 %, прочность на изгиб на 102 %, ударную вязкость по Шарпи на 205 % и теплопроводность при 25 °C на 572 % по сравнению с чистой смолой. Было установлено, что достичь такого эффекта удалось за счет отсутствия в МГ дефектов Стоуна-Уэйлса.

Список литературы:

[1] *Vozniakovskii, A.A., Voznyakovskii, A.P., Kidalov, S.V., Otvalko, J., Neverovskaia, A.Yu. J. Compos. Mater.* **54(23)**, 3351 (2020).

[2] *Kidalov, S.V.; Voznyakovskii, A.P.; Vozniakovskii, A.A.; Titova, S.V.; Auchynnika, Y.V. Materials.* **16**, 1157 (2023).

Благодарности

Выполнение работы поддержано грантом РНФ № 23-79-10254.

«УПРАВЛЯЕМАЯ» САМООРГАНИЗАЦИЯ БИОСОВМЕСТИМЫХ АМФИФИЛЬНЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МИЦЕЛЛЯРНЫХ СТРУКТУР С ЗАДАННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Кузнецова Е.В.¹, Седуш Н.Г.^{1,2}, Пучкова Ю.А.¹, Пучков А.А.¹, Чвалун С.Н.^{1,2}

¹Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

²Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,
Москва, Россия

kuznetsova.kate992@gmail.com

Самосборка амфифильных блок-сополимеров в растворе в упорядоченные наноразмерные структуры (чаще всего в сферические мицеллы) представляет значительный интерес для исследователей последние несколько десятилетий. Благодаря строению типа «ядро-корона» полимерные мицеллы могут выступать в качестве носителей для адресной доставки различных биологически активных соединений, в том числе малорастворимых или нерастворимых в воде лекарств. Кроме того, физико-химические свойства подобных мицеллярных структур можно регулировать в широком диапазоне в зависимости от биомедицинской задачи, изменяя или условия получения мицелл или молекулярный состав исходного амфифильного блок-сополимера.

Целью данной работы является поиск и разработка эффективных подходов для «управления» самосборкой биосовместимых амфифильных блок-сополимеров лактида и оксида этилена и получение на их основе мицелл-носителей с регулируемыми параметрами. В работе выявлена взаимосвязь молекулярного состава сополимеров поли(лактид)-*б*-поли(этиленоксид) (ПЛА-*б*-ПЭО) и физико-химических свойств мицелл на их основе [1, 2]. Исследовано влияние способа и условий получения ПЛА-*б*-ПЭО мицелл на их размер, форму, поверхностный заряд и агрегативную устойчивость в воде.

Полученные зависимости позволили разработать подходы к управлению самоассоциацией биосовместимых ПЛА-*б*-ПЭО сополимеров и получению на их основе мицеллярных структур с размером от 20–30 до 200 нм, повышенной стабильностью, регулируемой сорбционной емкостью и скоростью высвобождения загруженного вещества, способных к лиофилизации и последующему редиспергированию в воде до исходных размеров [3], что крайне важно при использовании подобных структур в качестве носителей лекарственных средств.

Список литературы:

[1] Razuvaeva E.V., Kulebyakina A.I., Streltsov D.R., Bakirov A.V., Kamyshinsky R.A., Kuznetsov N.M., Chvalun S.N., Shtykova E.V. *Langmuir*. **34** (50), 15470 (2018).

[2] Kadina Y.A., Razuvaeva E.V., Streltsov D.R., Sedush N.G., Shtykova E.V., Kulebyakina A.I., Puchkov A.A., Volkov D.S., Nazarov A.A., Chvalun S.N. *Molecules*. **26** (3), 602 (2021).

[3] Kuznetsova E.V., Sedush N.G., Puchkova Y.A., Aleshin S.V., Yastremsky E.V., Nazarov A.A., Chvalun S.N. *Polymers*. **15**, 2296 (2023).

Благодарности

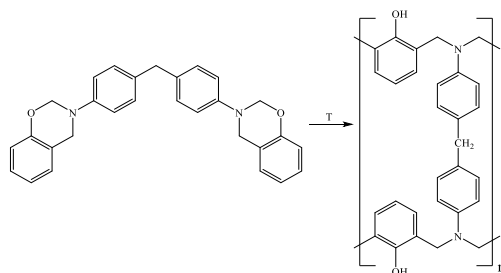
Работа выполнена при частичной финансовой поддержке госзадания НИЦ «Курчатовский институт».

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛИБЕНЗОКСАЗИНА НА ОСНОВЕ 4,4'-ДИАМИНОДИФЕНИЛМЕТАНА

Горбунова Е.А., Шутов В.В.

*Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,
г. Москва
kotofey3315@gmail.com*

В большей степени бензоксазины можно рассматривать как альтернативу эпоксидным смолам при производстве полимерных композиционных материалов. Бензоксазины, как и эпоксидные смолы, обладают отличными механическими свойствами и сопоставимой стоимостью. Их важной особенностью является образование трехмерной структуры при отверждении действием повышенной температуры, без использования отвердителя. Таким образом, бензоксазиновые связующие могут быть однокомпонентны и более технологичны [1]. Повышенный интерес представляют бифункциональные бензоксазиновые полимеры, полученные на основе диаминов различного строения. Они характеризуются повышенными механическими свойствами и более высокой термо- и теплостойкостью, обладают повышенной температурой начала деструкции и существенно большим коксовым остатком в сравнении с полимерами на основе дифенолов и моноаминов [2]. Несмотря на большое количество литературы, посвященной данной тематике, до сих пор точно не установлена химическая структура полибензоксазинов и обычно приводится следующая схема полимеризации:



Бензоксазиновый мономер на основе 4,4'-диаминодифенилметана получали по описанной трехстадийной методике [3] и дополнительно дважды перекристаллизовывали из ацетона. Химическое строение мономера подтверждали ^{13}C , ^1H ЯМР-спектроскопией и MALDI-TOF спектрометрией. Полученный бензоксазин отверждали по режиму 180 °С – 6 часов и 200 °С – 2 часа, а его химическую структуру в процессе полимеризации изучали с помощью ^{13}C ЯМР твердого тела с вращением под «магическим» углом. На основании полученных данных можно сделать вывод о протекании перегруппировок, приводящих к образованию структуры орто-новолачного типа, помимо основной структуры.

Список литературы:

- [1] *Ishida H., Hong Y.L.* Macromolecules. **30** (4), 1099 (1997).
 [2] *Сиротин И.С., Петракова В.В., Куреев В.В.* Пластические массы. **5-6**, 4 (2022).
 [3] *Lin C.H., Chang S.L., Hsieh C.W., Lee H.H.* Polymer. **49** (5), 1220 (2008).

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ НА ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННЫЕ ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ПЛЕНКАХ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА

Волгина Е.А.¹, Герасимов Д.И.²

¹Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
г. Санкт-Петербург, Россия

²Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург, Россия
volgina.le2017@yandex.ru

Релаксационные процессы в пленках поливинилиденфторида (ПВДФ) были изучены методом термостимулированных токов фракционной поляризации (ТСТ ФП). Пленки получали экструзией расплава полимера с последующим изометрическим отжигом. Для изготовления пленок использовали гранулы ПВДФ марки Купар-720 (Atofina Chemicals, USA) с $M_w=190000$ г·моль⁻¹. Температуру отжига варьировали в диапазоне от 120 °С до 170 °С с шагом 10 °С. Исследованы зависимости степени кристалличности пленок (χ) и интенсивности термостимулированных токов деполяризации от температуры отжига ($T_{отж}$) (рис. 1а, б).

Спектры ТСТ ФП были получены на установке TSC II (Setaram, France). Измерения проводили в атмосфере гелия, величины токов определяли электрометром Keithley. Отожженные пленки ПВДФ были поляризованы при напряженности электрического поля 100 В/мм при температуре 31 °С, после чего их охлаждали до 26 °С, при которой выдерживали в течении 1 минуты. Во время деполяризации внешнее поле снимали, а образец, находящийся в состоянии короткого замыкания, охлаждался до 0 °С. Термостимулированный ток короткого замыкания регистрировали при линейном нагревании. Релаксационные процессы в пленках ПВДФ исследовали в интервале температур от 0 – 70 °С. Из графиков видно, что кривая интенсивности пиков ТСТ ФП (Рис.1б) имеет ход, обратный ходу зависимости степени кристалличности от $T_{отж}$. Это позволяет сделать вывод, что релаксационные процессы, происходящие в ПВДФ в области 35 °С, связаны с аморфной частью структуры пленок ПВДФ.

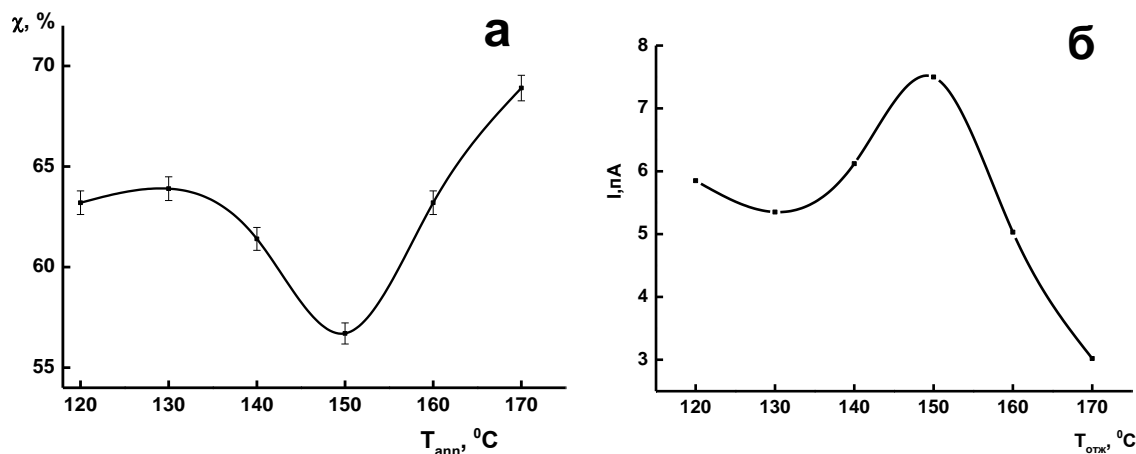


Рис. 1 – Зависимости степени кристалличности (а) и интенсивности пика ТСТ ФП (б) от $T_{отж}$ пленок ПВДФ.

ИЗУЧЕНИЕ АДсорбЦИОННО-ДЕсорбЦИОННЫХ СВОЙСТВ РАЗЛАГАЕМЫХ МЕЗОПорИСТЫХ ГИбриДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Карпова Е.А., Медынская А.В., Заргарагоян Г.А., Солдатов М.А.

*Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева (РХТУ),
г. Москва*

EkaterinaAKarpova@yandex.ru

Некоторое время назад полимеры, склонные к гидролитической деструкции, не вызывали повышенного интереса научного сообщества, однако с развитием тканевой инженерии, систем доставки лекарственных средств и вакцин, их ценность была пересмотрена. С каждым годом все больше исследований затрагивают тематику применения полимерных материалов в качестве биосенсоров, медицинских препаратов, носителей БАВ и др. Был разработан, подготовлен и испытан широкий спектр полимеров систем, начиная от традиционных систем доставки лекарств и заканчивая супрамолекулярными системами и многокомпонентными ЛС [1].

Одними из самых распространенных и хорошо изученных полимеров в области практической медицины являются кремнийсодержащие материалы [2]. В частности, пористые материалы на их основе отличаются биосовместимостью, устойчивостью к воздействию агрессивных сред, термической стабильностью, невысокой стоимостью, высоким отношением площади поверхности к объему, а также возможностью регулирования размеров получаемых частиц. Однако одним из основных ограничений силиконов для применений в области контролируемой доставки лекарственных средств является низкая биоразлагаемость.

Решением вопроса является создание сшитых пористых гибридных фосфазен-силиконовых материалов. Главными преимуществами применения фосфазенов являются биосовместимость и возможность регулирования скорости гидролитической деструкции, продуктами которой является буферная смесь малотоксичных продуктов: фосфатов и аммонийных солей ($\text{pH} \approx 7$) [3].

В данной работе были проанализированы адсорбционно-десорбционные свойства материалов на основе гексахлорциклотрифосфазена и октатетраметиламмоний силиката в водных средах с различным значением водородного показателя среды.

Список литературы:

[1] *Andrianov A.K.* Hoboken, N.J: Wiley, 2009.

[2] *Liu W. T., Yang Y., Shen P. H., Gao X. J., He S. Q., Liu H., Zhu C.S.* Express Polymer Letters. **V. 9** (12), P. 1068-1075, (2015)

[3] *Chernysheva A. I., Karpova E. A., Terentyeva D. A., Tsivkovsky N. S., Selivantev Y. M., Raitman O. A., Gorlov M. V., Soldatov M. A.* Reactive and Functional Polymers. **V. 182**, P. 105491, (2023).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (грант № 22-23-00867).

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ СОПОЛИМЕРА L-ЛАКТИДА И ϵ -КАПРОЛАКТОНА

Соловьёва Я.В.^{1,2}, Смирнов С.В.¹, Кузнецов В.А.², Власов И.А.², Пестов А.²

¹Институт машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург

²Институт органического синтеза УрО РАН, г. Екатеринбург
yana-soloveva-1998@mail.ru

В качестве решения проблем использования и утилизации пластмасс на нефтяной основе разрабатывается и совершенствуется индустрия биоразлагаемых полимеров. Данные материалы уже активно используются в медицинской и упаковочной промышленности. Медицинское применение требует от полимеров широкого разнообразия физико-механических характеристик [1,2].

Среди биоразлагаемых полимеров полилактид (ПЛА) обладает высоким потенциалом применения благодаря своей доступности и низкой стоимости. Существенным минусом, который ограничивает применение ПЛА в различных областях, является хрупкость. Для настройки свойств полимера используется смешение ПЛА с другим полимером для адаптации общих свойств материала за счет синергетического сочетания желаемых свойств каждого компонента. Хорошим претендентом для данного взаимодействия является биоразлагаемый поликапролактон (ПКЛ). ПКЛ термически более стабилен, чем полилактид и полностью разлагается благодаря энзиматической активности [3].

Основной задачей данной работы является создание полимерных композиций на основе L-лактида и ϵ -капролактона с дальнейшим исследованием их механических свойств. Варьирование соотношения мономерного состава позволяет настраивать характеристики сополимерного материала. Фиксирование данной зависимости состава и свойств позволит моделировать материалы с заданными параметрами для различных сфер применения, спектр которых охватывает машиностроение, медицину и упаковочную промышленность.

Образцы полимеров в виде пленок толщиной 0.04 мм исследовались на установке для динамического механического анализа DMA GABO EPLEXOR 100N (NETZSCH, Германия). В результате для сополимеров (L-лактид)-(ϵ -капролактон) различного состава были получены кривые сопротивления деформации, модуль упругости, модуль потерь, комплексный модуль и коэффициент потерь $\text{tg}\delta$ при 25°C и 50°C.

Список литературы:

- [1] *Uhrich K.E. et al.* Biodegradable and bioerodible polymers for medical applications. Biosynthetic Polymers for Medical Applications. Elsevier Inc. (2016).
- [2] *Kunduru K.R. et al.* Biodegradable Polymers: Medical Applications. Encyclopedia of Polymer Science and Technology. John Wiley & Sons, Inc. (2016).
- [3] *Deshmukh K. et al.* Biopolymer Composites With High Dielectric Performance: Interface Engineering. Biopolymer Composites in Electronics. Elsevier, (2017).

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ПОЛИМОРФИЗМ ДЛИННОЦЕПОЧЕЧНЫХ Н-АЛКАНОВ РАЗНОЙ ЧЁТНОСТИ

Гурьева С.А.¹, Марихин В.А.¹, Власова Е.Н.²

¹Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург

²Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
swet.gurjewa@gmail.com

Исследование температурного полиморфизма длинноцепочечных молекулярных кристаллов *n*-алканов является фундаментальным вопросом физики полимеров, поскольку ответ на него позволит описать структурные трансформации в более сложных высокомолекулярных соединениях.

Использование метода ИК Фурье-спектроскопии позволяет выявлять изменения симметрии основных ячеек и суб-ячеек в кристаллических сердечниках ламелей *n*-алканов при протекании твердофазного (структурного) перехода I рода (ФП-1) по тонким смещениям в спектрах молекулярных колебаний. Более того, удаётся обнаружить различия кинетики полиморфного перестроения кристаллической структуры при нагревании *n*-алканов разной чётности (C₂₃H₄₈ и C₂₄H₅₀). Интерес к *n*-алканам разной чётности вызван различием симметрии укладки молекул в ламелях с вертикальным (для нечётных) и наклонным (для чётных) расположением цепей. Чётно-нечётные различия связаны с транс/цис симметрией молекул, что влияет на упаковку концевых СН₃ групп и приводит к появлению наклонных фаз, энергетически выгодных для чётных *n*-алканов.

Исследованы температурные изменения частот деформационных мод колебаний СН₂ транс-последовательностей и валентных колебаний С-Н связей. Установлено, что при ФП-1 исходные суб-ячейки (орторомбические или триклинные) *n*-алканов переходят в гексагональные [1]. Оказалось, что чётность *n*-алканов влияет на возникновение очагов новой фазы либо в сердцевинах ламелей (для чётных), либо в межламеллярном пространстве (для нечётных) [2]. Более того, должны происходить более тонкие этапы реструктуризации, сопутствующие ФП-1. Это переходы между промежуточными ротационными фазами (R_I, R_{II}, R_V) [3], в которых возможно дискретное вращение молекул вокруг своих осей. Это приводит к более дефектному упорядочению и появлению конформационных гош-дефектов на концах цепей [4]. Установлено, что формирование ряда промежуточных фаз осуществляется в зависимости от симметрии молекул и облегчает переход к новой кристаллографической симметрии.

Список литературы:

- [1] Марихин В.А., Гурьева С.А., Мясникова Л.П., Волчек Б.З., Медведева Д.А. ФТТ. **61**, 1831 (2019).
- [2] Gureva S.A., Borisov A.K., Marikhin V.A., Egorov V.M. J. Phys.: Conf. Ser. **2086**, 012182 (2021).
- [3] Sirota E.B., King H.E., Singer D.M., Shao H.H. J. Chem. Phys. **98**, 5809 (1993).
- [4] Gureva S.A., Marikhin V.A., Vlasova E.N. St. Petersburg. State Polytech. Univ. J.: Phys. Math. **16**, 84 (2023).

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРОВ АМФИФИЛЬНЫХ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ N-МЕТИЛ-N-ВИНИЛАЦЕТАМИДА МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ И СВЕТОРАССЕЯНИЯ

Гостева А.А., Симонова М.А., Павлов Г.М.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
anna.gosteva.imc@gmail.com*

Амфифильные гребнеобразные сополимеры N-метил-N-винилацетамида и N-метил-N-виниламина (МВАА-*co*-МВА) C_nH_{2n+1} с длинными гидрофобными боковыми радикалами представляют интерес в качестве молекулярных наносистем для доставки биологически активных веществ (БАВ) в организм. Наиболее перспективными являются полимерные системы, проявляющие достаточную гидрофобность [1-2]. В качестве объектов исследования выбрали образцы сополимеров МВАА-*co*-МВАС $_{12}H_{25}NI$ состава (85/15%) с разной степенью гидрофобности. Степень гидрофобности оценили по параметру Крэмера [4,5]. Проведено исследование разбавленных растворов сополимеров МВАА-*co*-МВАС $_{12}H_{25}NI$ методами динамического и статического светорассеяния в 0.1M NaCl в интервале температур от 21 до 40°C. В ходе исследований была установлена различная температурная зависимость второго вириального коэффициента для сополимеров МВАА-*co*-МВАС $_{12}H_{25}NI$, проявляющих различную степень гидрофобности. Полученные результаты обсуждаются в рамках теории второго вириального коэффициента гребнеобразных полимеров (молекулярных щеток) [5]. Дополнительно проведено сравнение результатов исследований гребнеобразных сополимеров с данными для исходного линейного гомополимера N-метил-N-винилацетамида.

Список литературы:

- [1] Kawata T., Hashidzume A., Sato T. *Macromolecules*. **40**, 1174, (2007)
- [2] Terashima T., Sugita T., Fukae K., Sawamoto M. *Macromolecules*. **47** (2), 589, (2014).
- [3] Pavlov G.M., Gosteva A.A., Okatova O.V., Dommes O.A., Gavrilova I.I., Panarin E.F. *Polymer Chemistry*. **12**, 2325, (2021).
- [4] Gosteva A., Gubarev A.S., Dommes O., Okatova O., Pavlov G. *Polymers*. **15**(4), 961, (2023).
- [5] Candau F., Rempp P., Benoit H. *Macromolecules*. **5**, 627, (1972).

Благодарности

Исследованные сополимеры были синтезированы в лаборатории гидрофильных полимеров ИВС РАН. Авторы выражают искреннюю благодарность заведующему лабораторией, члену-корреспонденту РАН, профессору Е.Ф. Панарину за полезное обсуждение и научному сотруднику И.И. Гавриловой за синтез сополимеров.

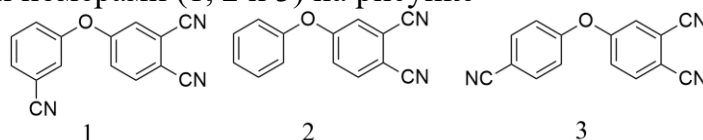
ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ АКТИВНЫХ РАЗБАВИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ФТАЛОНИТРИЛЬНЫХ СМОЛ И ПОЛИМЕРОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Часовских А.А., Морозов О.С., Терехов В.Е.

*Кафедра химической технологии и новых материалов,
Лаборатория полимерных композиционных материалов
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
artem.chasovskikh@chemistry.msu.ru*

Вакуумная инфузия является одним из перспективных методов создания полимерных композиционных материалов, процесс которого заключается в пропитке жидким связующим армирующего наполнителя под действием вакуума, с последующим отверждением жидкой смолы. При этом к связующему для инфузии предъявляется определенное требование к его вязкости при температуре формования ПКМ, которая также не должна превышать температуру начала активной полимеризации смолы. В нашей лаборатории занимаются созданием фталонитрильных связующих, а также синтезом новых активных разбавителей – веществ, которые помимо способности к поликонденсации, могут снизить температуру и вязкость смеси мономеров.

Целью нашей работы является синтез нового активного разбавителя 4-(3-цианофенокси)фталонитрила, и сравнение механических свойств изготовленных из составов на его основе пластиков с аналогичными 4-феноксифталонитрилом и 4-(4-цианофенокси)фталонитрилом. Их структуры представлены под соответствующими номерами (1, 2 и 3) на рисунке



Синтез 4-феноксифталонитрила и 4-(4-цианофенокси)фталонитрила проводился путем реакции нуклеофильного замещения 4-нитрофталонитрила с фенолом и 4-цианофенолом соответственно. Для синтеза 4-(3-цианофенокси)фталонитрила в качестве исходного соединения был выбран 4-гидроксibenзальдегид. Сперва вещество подвергли реакции нуклеофильного замещения с 4-нитрофталонитрилом, а после промежуточный альдегид вступал в реакцию с раствором аммиака и йодом. Полученные соединения были охарактеризованы методом ^1H , ^{13}C ЯМР спектроскопии. Температура плавления 4-(3-цианофенокси)фталонитрила была определена методом ДСК.

Для каждого состава были получены изотермы вязкости при различных температурах, а также температурный профиль вязкости. Для поствержденных при 350 °С пластиков были определены температуры стеклования соответствующих составов методом ДМА. По совокупности полученных данных определено влияние наличие и местоположение циано-группы на ход полимеризации.

Список литературы

[1] Timoshkin I.A., Aleshkevich V.V., Afanas'eva E.S., Bulgakov B.A., Babkin A.V., Kerpan A.V. & Avdeev V.V. Polymer Science, Series C. **62**, 172–182 (2020)

ПОЛИУРЕТАНОВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДАМИ ЗЕЛЕННОЙ ХИМИИ

Коновалов Д.С., Зуев В.В.

Университет ИТМО
dimannorm610@yandex.ru

Основываясь на подходе зеленой химии, нами были получены полиуретановые композиты на базе природных полиолов (касторовое масло), наполненные древесными волокнами различной размерности. Основная задача получения композитных материалов с высокими эксплуатационными характеристиками сводится к разработке технологии их получения с оптимизацией состава, подготовки материалов и оптимизации технологии их получения.

Проблемой природного сырья является высокая степень загрязнения сопутствующими компонентами, попадающими в целевой продукт при его получении. Была разработана методика очистки касторового масла, позволяющая повысить механические характеристики получаемых на его основе композитов. Методами ИК спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) была изучена морфология и фазовая природа полученных композитов. Данные ИК спектроскопии показали, что введение волокон древесины березы не изменяют микрофазную структуру полиуретановой матрицы. С помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) было выявлено, что при применении разработанной технологии волокна имеют хорошую смачиваемость полиуретановой матрицей, при этом, за счет реакции с гидроксильными группами целлюлозы и лигнина, образуется прочная межфазная граница, которая обеспечивает высокое усиление композита за счет трансфера механической прочности с наполнителя на полимерную матрицу. По сравнению с ненаполненным полимером предел прочности композита с 20 вес.% древесных волокон возрос в 8 раз, относительное удлинение уменьшилось на 4%, адгезия к стали возросла в 1,7 раза, твердость по Шору D увеличилась в 2,5 раза.

Полученные материалы отвечают требованиям стандартов Газпрома и Транснефти для защитных покрытий магистральных нефтегазопроводов; при этом введение древесных волокон березы существенно снижает стоимость конечного продукта, что обеспечивает конкурентные преимущества на рынке.

Список литературы:

- [1] Paraskar, P.M.; Prabhudesai, M.S.; Hatkar, V.M.; Kulkarni, R.D. Vegetable oil based polyurethane coatings—A sustainable approach: A review. *Prog. Org. Coat.* 2021, 156, 106267.
- [2] Bajpai, P.K.; Singh, I. (Eds.) Reinforced Polymer Composites: Processing, Characterization and Post Life Cycle Assessment; **Wiley-VCH: Weinheim**, Germany, 2019; p. 288.
- [3] Chen, R.; Zhang, C.; Kessler, M.R. Anionic waterborne polyurethane dispersion from a bio-based ionic segment. *RSC Adv.* 2014, 4, 35476–35483.

ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ВОЛОКНА ИЗ СВМПЭ И ЭФФЕКТИВНЫЕ БАКТЕРИЦИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ L-ЦИСТЕИНА И СОЛЕЙ СЕРЕБРА, ПОЛУЧАЕМЫЕ МЕТОДАМИ ГЕЛЬ-ТЕХНОЛОГИИ

Пахомов П.М.¹, Хижняк С.Д.¹, Галицын В.П.²

¹*Тверской государственный университет*

²*Научно-исследовательский институт синтетического волокна, г. Тверь
pavel.pakhomov@mail.ru*

В настоящее время самые прочные волокна из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и эффективные бактерицидные материалы получают методами гель-технологии [1,2]. В первом случае, используя раствор СВМПЭ с мол. массой выше 10^6 г/моль и концентрацией 3-5%, готовят термообратимый физический гель с редкой пространственной сеткой и слабыми узлами нековалентной природы. В результате ориентационной вытяжки сетку геля можно легко распутать и превратить в высоко ориентированное волокно с разрывной прочностью 4 и модулем упругости 150 ГПа. При этом кратность ориентационного вытягивания достигает 100. Путем проведения комплексных технологических и физико-химических исследований на базе НИИ синтетического волокна была разработана отечественная гель-технология получения волокон СВМПЭ с упруго-прочностными показателями, представленными выше и не уступающим лучшим зарубежным образцам [1]. Во втором случае, используя низко концентрированный (~ 0.01%) водный раствор на основе L-цистеина и AgNO_3 (цистеин-серебряный раствор - ЦСР), был синтезирован супрамолекулярный гидрогель (СМГ), обладающий тиксотропными свойствами [2]. В этом геле не только узлы пространственной сетки, но и сами цепи образованы за счет нековалентных взаимодействий. С помощью методов ИК и УФ спектроскопии, динамического светорассеивания, электронной микроскопии, вискозиметрии и др. установлено, что при смешивании водных растворов аминокислоты и соли серебра (с небольшим избытком) на первой стадии в течение короткого времени образуются молекулы меркаптида серебра (в растворе цвиттер-ион). Затем на второй стадии (стадия созревания раствора) в течение нескольких часов в результате самосборки происходит формирование из молекул меркаптида серебра супрамолекулярных цепочек. Наконец, на третьей стадии при введении в созревший раствор соли-инициатора (например, Na_2SO_4) происходило гелеобразование. ЦСР хорошо смешивался с водорастворимыми полимерами (ПВС, полисахариды и др.), образуя пленки. ЦСР и СМГ имели высокие антибактериальные и цитотоксические свойства. Кроме того, растворы, гели и пленки проявляли высокую фоточувствительность.

Список литературы:

- [1] Пахомов П.М., Галицын В.П., Хижняк С.Д., Чмель А.Е. Высокопрочные и высокомодульные полимерные волокна. Тверь: ТвГУ, 2012. 327с.
- [2] Пахомов П.М., Хижняк С.Д., Овчинников М.М., Комаров П.В. Супрамолекулярные гели. Тверь: ТвГУ. 2011. 269с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ТЕРМОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ УРЕТАНСОДЕРЖАЩЕГО КАУЧУКА И ПОЛИФОСФАТА МЕЛАМИНА

Сидоров О.И.¹, Пильченко В.А.¹, Бочкова Т.В.¹, Жестерев Д.В.¹,
Плешаков Д.В.², Шантарович В.П.³

¹ФГУП «ФЦДТ «Союз», Московская обл., г. Дзержинский;

²РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва

³ФИЦ ХФ РАН, г. Москва

soyuz@fcdt.ru

С целью защиты наполненных полимерных композиций, металлических изделий от воздействия высокотемпературного газового потока разработано полимерное термозащитное покрытие на основе полиэфируретанового каучука с концевыми полиэфируретановыми группами, смеси эпоксидных хлорсодержащих олигомеров, ароматического аминного отвердителя и наполнителя полифосфата меламина [1,2]. Исследована структура и свойства термозащитного покрытия. Определены механические характеристики термозащитного покрытия при температурах минус 50 °С и плюс 50 °С, которые составляют: прочность 48,8 МПа и 4,9 МПа; деформация при разрыве 2,4% и 37,2% соответственно. Покрытие имеет две температуры стеклования, которые составляют минус 36°С и плюс 56 °С. Методом аннигиляции позитронов установлено, что покрытие имеет микропоры (элементарный свободный объём) размерами 0,19 нм и 0,335 нм. При нагревании покрытия в среде азота до температуры 400 °С коксовый остаток составляет 44,3%. Водопоглощение покрытия за 46 суток при 20 °С составляет 3,9%. Термозащитное покрытие обеспечивает защиту наполненной полимерной композиции от воздействия газового потока с температурой 1400 °С в течение 15 секунд.

Список литературы:

[1] Сидоров О.И., Пильченко В.А., Бочкова Т.В., Шалаев А.А., Жестерев Д.В., Плешаков Д.В., Бузин М.И. Все материалы. Энциклопедический справочник, **5**, 3 (2023).

[2] Павлович А.В., Владенков В.В., Изюмский В.Н., Кильчинская С.Л. Лакокрасочная промышленность, **11**, 18 (2012)

ВЗАИМОСВЯЗЬ СМАЧИВАЕМОСТИ И НАБУХАНИЯ РЕЗИН НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА

Гайдукова Л.В., Большунова Е.А., Котелкова Е.О.

*ФГБУ «Научно-исследовательский институт синтетического каучука
имени академика С.В. Лебедева», г. Санкт-Петербург
9111149627@mail.ru*

Современное материаловедение предъявляет высокие требования к стойкости эластомерных материалах в агрессивных рабочих средах. Как правило, агрессивностойкость характеризуется способностью материала поглощать жидкость.

Набухание, как сложный физический процесс, имеет несколько стадий взаимодействия материала с жидкостью. Известно, что начальную стадию взаимодействия жидкости с твердым телом характеризует смачиваемость [1], основной характеристикой которой является краевой угол смачивания. Согласно представлениям П.А. Ребиндера твердое тело лучше смачивается той жидкостью, в которой лучше набухает.

Как правило, в качестве полимерной основы для резин, сохраняющих работоспособность в углеводородных средах, применяют бутадиен-нитрильные каучуки. Известно, что с повышением содержания связанного акрилонитрила их стойкость к нефтепродуктам увеличивается.

На примере бутадиен-нитрильных каучуков с содержанием связанного акрилонитрила 15, 18 и 40 % изучена взаимосвязь краевого угла смачивания гидравлическим маслом АМГ-10 поверхности резин со степенью их набухания в этом масле. Результаты исследования представлены в таблице.

Таблица – Краевой угол смачивания гидравлическим маслом АМГ-10 поверхности резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков и степень их набухания в АМГ-10

Тип каучука	Краевой угол смачивания, °	Изменение массы в АМГ-10, %
СКН-15 СНТ	38,5	60,12
СКН-18 СНТ	17,8	38,14
СКН-40 СНТ	растекается	3,80

Из данных, представленных в таблице, видно, что с увеличением содержания связанного акрилонитрила снижается степень набухания в гидравлическом масле. Однако, при этом, вопреки общепринятым представлениям, краевой угол смачивания снижается, а в случае наиболее маслостойкой резины наблюдается полная смачиваемость. Вероятно, в этом случае, за счет действия поверхностных сил возникает равновесная смачивающая пленка [2], приводящая к отсутствию градиента концентрации в поверхностных слоях, необходимого для протекания диффузионных процессов, в том числе и набухания.

Список литературы:

- [1] Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. М.: Химия, 1976.
[2] Дерягин Б.В., Чураев Н.В. Смачивающие пленки. М.: Наука, 1984

ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ И ДИФФУЗИЯ В СМЕСЯХ ПОЛИСТИРОЛА С ПОЛИАКРИЛАТАМИ И СОПОЛИМЕРАМИ СТИРОЛА И АКРИЛАТОВ

Никулова У.В., Чалых А.Е.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской
академии наук, г. Москва
ulianan@rambler.ru*

Методом оптической интерферометрии были исследованы растворимость и взаимодиффузия при смешении полистирола с полиметилакрилатом (ПМА), полиэтилакрилатом (ПЭА), полибутилакрилатом (ПБА), полигексилэтилакрилатом (ПЭГА), полиметилметакрилатом различных молекулярных масс (ПММА), а также со статистическими, градиентными и блок-сополимерами стирола и бутилакрилата и со статистическими сополимерами стирола и метилметакрилата. Получены фазовые диаграммы, характеризующиеся верхней критической температурой смешения (ВКТС). По составам сосуществующих фаз всех систем были рассчитаны параметры взаимодействия и проанализированы их температурные зависимости.

В рамках теории Флори-Хаггинса и разработанного программного обеспечения PhaDiag [1, 2] было проведено моделирование бинадальных и спинодальных кривых и построены обобщенные диаграммы фазового состояния всех систем.

Для систем с полиакрилатами и их сополимерами получена информация по трансляционным коэффициентам диффузии, оценены их численные значения, проанализированы зависимости от концентрации, температуры, молекулярной массы ПС, состава сополимеров. Рассчитаны коэффициенты трения макромолекул и коэффициенты диффузии мономерных звеньев. Показано, что они не зависят от молекулярной массы диффузанта и архитектуры сополимера.

Для систем с полиметакрилатами построены номограммы растворимости в широком диапазоне молекулярных масс ПС и ПММА, а также проведена оценка влияния молекулярной массы на термодинамику смешения компонентов.

Список литературы:

[1] Chalykh A.E., Nikulova U.V., Gerasimov V.K. *Polymers*. **14** (13), 2524 (2022) DOI: 10.3390/polym14132524

[2] *Никулова У.В.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022661504 «Программное обеспечение PhaDiag для анализа и прогнозирования диаграмм фазового состояния». Правообладатель ФГБУН ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина РАН. Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений 22.06.2022.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

2-О-15

РАЗВИТИЕ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В НИОХ СО РАН

Шелковников В.В.

*Новосибирский институт органической химии им. Н.Н.Ворожцова Сибирского
Отделения Российской Академии Наук, г. Новосибирск
vice@nioch.nsc.ru*

Рассмотрены варианты применения и этапы развития голографических фотополимерных материалов (ГФПМ) в Новосибирском институте органической химии им. Н.Н.Ворожцова СО РАН. В частности, обсуждаются следующие направления. Материалы для голографической записи при двухфотонном возбуждении и при возбуждении на синглет-триплетных переходах. Использование солей тиоксантенония и их комплексов с переносом заряда для сенсбилизации ГФПМ. Получение и свойства гибридных фотополимерных материалов. Запись цветных голограмм в однослойных и слоистых фотополимерных материалах. Формирование решёток второго порядка при формировании отражательных голограмм. Применение голографического метода для исследования кинетики фотополимеризации в слоях при импульсной и непрерывной записи. Применение усадки фотополимерных материалов для получения голографического цветоделённого изображения.

ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ С СЕГРЕГИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ, НАПОЛНЕННЫЕ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОМАТЕРИАЛАМИ

Шиянова К.А., Торкунов М.К., Гудков М.В., Рывкина Н.Г., Мельников В.П.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный
исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова
Российской академии наук, г. Москва
shyanovakseniya@mail.ru*

Разработка электропроводящих полимерных композитов с формированием сегрегированной структуры в настоящее время является одним из наиболее перспективных направлений исследований в области получения композитов с высокой электропроводностью. Такие материалы имеют высокий потенциал применения для производства безметаллических микроэлектронных устройств, таких как суперконденсаторы, литий ионные и литий полимерные батареи, газовые и биологические сенсоры, а также для экранов, отражающих электромагнитные помехи, и для снятия электростатического электричества.

Несмотря на большое количество публикаций по разработке и изучению электропроводящих композитных материалов, оптимальное распределение электропроводящих наноразмерных наполнителей в полимерной матрице до сих пор остается одной из нерешенных проблем, препятствующих широкому использованию таких материалов в промышленности. Для достижения высокой электропроводности требуется большая концентрация электропроводящего наполнителя, что приводит не только к принципиальному изменению свойств материала, но и к удорожанию конечного композита.

Снижение количества наполнителя, необходимого для достижения требуемого уровня электропроводности материала, может быть осуществлено за счет формирования сегрегированной структуры, в которой проводящая фаза заведомо неравномерно распределена и локализована на границе между полимерными частицами. Такое распределение приводит к увеличению локальной концентрации наполнителя по сравнению с таковой при равномерном распределении, реализуемом при механическом смешении компонентов.

В рамках данного исследования были разработаны и исследованы электропроводящие полимерные композиты на основе различных полимерных матриц. В качестве углеродного нанонаполнителя использовался восстановленный оксид графена, многостенные и одностенные углеродные нанотрубки. Посредством испытаний на сжатие, сканирующей электронной микроскопии, диэлектрической спектроскопии и резонаторного метода в прямоугольном резонаторе были исследованы электрофизические и физико-механические характеристики полученных композитов. Максимум электропроводности – 12 См/м – полимерных композитов с сегрегированной структурой на основе фторопласта-42 достигается при содержании 1 мас.% одностенных углеродных нанотрубок. Также установлено, что полученные материалы могут использоваться в качестве экранов, защищающих от электромагнитных помех в СВЧ-диапазоне.

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНОГО МАГНЕТИТА НА СВОЙСТВА ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФОНА

Виндижева А.С., Хаширов А.А., Слонов А.Л., Жанситов А.А., Хаширова С.Ю.

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,
amina.vindizheva@mail.ru*

Магниточувствительные термопласты представляют собой большой практический интерес, в том числе для интеллектуальных систем, которые могут менять свои свойства при приложении магнитного поля, самовосстанавливающихся материалов [1]. Благодаря своему малому весу, коррозионной стойкости и технологичности термопластичные магнитные композиты нашли место в следующем поколении передовых материалов для электромагнитных помех, превосходя традиционно используемые металлические жесткие экраны [2].

В настоящей работе исследовано влияние природного магнетита, выделенного из природного минерала серпентинита месторождения КБР на структуру и свойства термопластичного полифениленсульфона (ПФСн), синтезированного в Центре прогрессивных материалов и аддитивных технологий Кабардино-Балкарского государственного университета. Концентрация наполнителя в полимерной матрице варьировалась от 1 до 10 мас. %. Композиционные материалы получали экструзионным смешением в расплаве при температурах переработки полифениленсульфона [3].

В результате проведенных исследований было выявлено, что полифениленсульфон, модифицированный магнетитом, выделенным из природного материала серпентинита, приобретает комплекс ценных свойств. Незначительное введение магнетита в ПФСн способно повышать физико-механические и термические свойства. Придание полимерной матрице ПФСн магнитных свойств, которые были выявлены в исследуемых композиционных материалах, способны расширять области применения суперконструкционных полимерных композиционных материалов в различных секторах промышленности и в медицине. В результате экспериментальных исследований было установлено, что оптимальное сочетание физико-механических и магнитных свойств достигнуто при введении в полимерную матрицу 5 % магнетита. Очевидно, что именно при этом наполнении удалось достичь желаемой степени однородности распределения магнитных частиц, что подтвердилось также результатами растровой электронной микроскопии.

Представленные результаты могут быть использованы для разработки оригинальных подходов к получению новых функциональных материалов на основе суперконструкционных полимеров.

Список литературы:

[1] Wu S., Hu W., Ze, Q., Sitti M., Zhao R. Multifunctional magnetic soft composites: A review. *Multifunct. Mater.* **3**, 04 (2003). [2] Liang C., Gu Z., Zhang, Y., Ma, Z., Qiu, H., Gu, J. Structural Design Strategies of Polymer Matrix Composites for Electromagnetic Interference Shielding: A Review. *Nano-Micro Lett.* **13**, 181 (2021). [3] Slonov A., Musov I., Zhansitov A., Kurdanova Z., Shakhmurzova K., Khashirova S. Investigation of the Properties of Polyphenylene Sulfone Blends. *Materials (Basel)*. **15(18)**, 6381 (2022).

ПОВЕДЕНИЕ МАКРОМОЛЕКУЛ СОПОЛИМЕРОВ ВИНИЛФОРМАМИД–СТИРОЛСУЛЬФОНАТ НАТРИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ СОСТАВА И ИОННОЙ СИЛЫ РАСТВОРА

Доммес О.А., Окатова О.В., Павлов Г.М.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
olga.dommes.imc@gmail.com*

Интерес к изучению сополимеров винилформамида и стиролсульфоната натрия (ВФА-ССNa) вызван, с одной стороны, свойствами составляющих его мономеров в связи с актуальностью их применения в биологических макромолекулярных системах, а также для различных промышленных применений. С другой стороны, исследования самоорганизующихся водорастворимых сополимеров представляют отдельный научный интерес. ПВФА – водорастворимый нетоксичный полимер, используется в качестве полимера-носителя и модификатора биологически активных веществ, а также обладает иммуностимулирующими свойствами [1]. ПССNa проявляет противовирусную активность *in vitro* и низкую цитотоксичность [2]. Несмотря на то, что оба гомополимера являются гидрофильными, в их сополимерах при увеличении ионной силы раствора могут проявляться гидрофобные взаимодействия, приводящие к компактизации макромолекул.

Сополимеры ВФА-ССNa изучили методами молекулярной гидродинамики (скоростная седиментация, поступательная диффузия, вискозиметрия) и охарактеризовали в условиях близких к физиологическим в растворах 0.1 М NaCl. Вискозиметрические исследования проведены в растворах разных ионных сил в широком интервале – от бессолевого раствора (~ 10⁻⁶М) до 2.5 М NaCl.

Сопоставлены свойства и сделаны выводы о различии в поведении молекул сополимеров ВФА-ССNa с разным содержанием ССNa (16 мол. % и 30 мол. %) и их гомополимеров при разных ионных силах растворов.

Список литературы:

[1] Panarin E.F., Ivanova N.P., Belokhvostova A.T., Potapenkova L.S. *Pharmaceutical Chemistry Journal* **40** (3), 141 (2006).

[2] Панарин Е. Ф., Фишер А. И., Нестерова Н. А., Штро А. А., Добродумов А. В., Гаврилова И. И., Манахов В. А., Некрасова Т. Н. *Известия Академии наук. Серия химическая* **11**, 2352 (2022).

Благодарности

Исследованные полимеры были синтезированы в лаборатории гидрофильных полимеров ИВС РАН. Авторы выражают искреннюю благодарность заведующему лабораторией, члену-корреспонденту РАН, профессору Е.Ф. Панарину и научному сотруднику лаборатории И.И. Гавриловой.

НОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ: СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ

Акбаров Х.И., Каттаев Н.Т.

*Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, химический
факультет
akbarov_kh@rambler.ru*

Разработка и исследование полупроводниковых наноматериалов является актуальной проблемой современного материаловедения. Благодаря размерным эффектам такие материалы обладают уникальными свойствами, имеющих потенциальное применение в разнообразных областях науки и техники.

На кафедре физической химии Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека проводятся научные исследования по синтезу и структурному дизайну, изучению свойств и поиску областей практического применения наноразмерных полупроводниковых материалов различного назначения.

Среди исследуемых материалов особое место занимает $g\text{-C}_3\text{N}_4$, являющийся самым перспективным объектом для получения водорода из воды [1]. Синтезированные новые аллотропные формы $g\text{-C}_3\text{N}_4$, допированные кислородом и серой, и их композитов, показали свою эффективность в реакциях фотокатализа, инициируемых солнечным светом. Выявлено, что $g\text{-C}_x\text{N}_y$ эффективно разлагает токсичные органические соединения, в частности амоксициллин, путем образования электронно-дырочных пар (экситонов) в результате поглощения квантов солнечного света [2].

Синтезированы новые конъюгированные полиэлектролиты на основе производных политиофена с несколькими оптически активными (флуорофорными) центрами, мультифункциональные наноккомпозиты «конъюгированный полимер – квантовая точка», молекулярно импринтированные полимеры и показан спектр их применения в качестве оптических мишеней (тест-систем) для молекул ДНК и биосенсоров в медицине и пищевой промышленности. Ведутся исследования по созданию высокоэффективных литий-полимерных аккумуляторов и электропроводящих полимерных систем на основе полианилина, полипиррола и поливинилимидазола с исключительными физико-химическими свойствами для создания различных электронных средств, чипов, датчиков, солнечных элементов, фотолюминесцентных устройств [3-4].

Список литературы

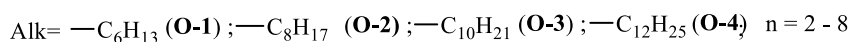
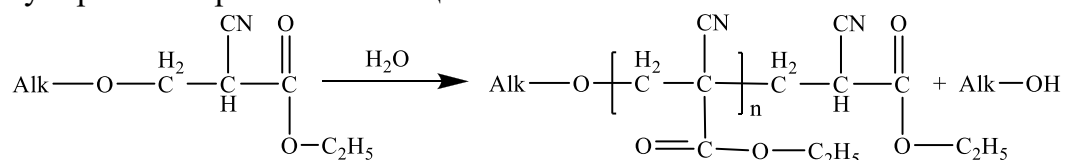
- [1] *Bakhromova I.A., Kattaev N.T., Akbarov Kh.I., Sidrasulieva G.B.* Oxygen doped graphitic carbon nitride photocatalysts: physical-chemical and photocatalytic properties // *Eur. Chem. Bull.*, 2023, 12(3), 1794–1804.
- [2] *I. A. Bakhromova, N. T. Kattaev, Kh. I. Akbarov, O. N. Ruzimuradov.* New graphitic carbon nitride synthesis and photocatalytic properties // *Uzb. Chem. Jour.*, 2022, 4, 9-14.
- [3] *Ruiqao Xu et al.* Highly conductive, twistable and bendable polypyrrolle-carbon nanotube fiber for efficient supercapacitor electrodes. *RSC Adv.*, 2015, 5, 22015–22021.
- [4] *С.Р. Отаджонов, Н. Т. Каттаев, Х. И. Акбаров, А.Т. Мамадалимов.* Синтез и электрохимические свойства электропроводящего полимера на основе поливинилимидазола // *Узб. хим. журн.* – 2023. – № 1. – С. 9–14.

СВОЙСТВА И ПОЛУЧЕНИЕ ПРОДУКТОВ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ АДДУКТОВ ЭТИЛ-2-ЦИАНАКРИЛАТА СО СПИРТАМИ ПО ДВОЙНОЙ СВЯЗИ

Харитонов В.Г., Куприянова Д.В.

*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,
viktoria.kharitonova.1996@mail.ru*

За последние десятилетия было разработано большое разнообразие лекарственных форм с использованием полимерных носителей. Большую роль среди них играют носители на основе полицианакрилатов [1]. Был разработан подход к получению новых соединений, методом присоединения жирных спиртов (гексилового, октилового, децилового и додецилового) и полиэтиленгликоля (ПЭГ) по двойной связи к этил-2-цианакрилату (ЭЦА). Присоединение происходит в кислой среде, в качестве катализатора в таком случае используются 2-цианакриловая кислота, либо же *p*-толуолсульфокислота (ПТСК). Закисленная среда позволяет не только непосредственно провести реакцию, но и избежать ненужной полимеризации ЭЦА по двойной связи. После получения исходного мономера, проводится его полимеризация. Для этого исходное соединение по каплям добавляют к воде либо при постоянном перемешивании магнитной мешалкой, либо при обработке ультразвуком. В результате происходит получение низкомолекулярного продукта полимеризации, в результате отсоединения спирта. Однако, у продукта также имеется алкокси-группа, влияющая на его свойства, в том числе способность к инкапсулированию различных веществ.



Полученные продукты, как мономеры, так и олигомеры, были проанализированы различными методами. В их числе ИК-спектроскопия, ЯМР-спектрометрия, элементный анализ, MASS MALDI TOF спектрометрия. Эти методы анализа позволяют подтвердить получение предполагаемых соединений. Также, полимеры исследовались на гидрофильность-гидрофобность, методом определения поверхностного натяжения на поверхности пленки полимера. Было выявлено, что присоединение по двойной связи жирных спиртов делает соединение тем более гидрофильным, чем короче присоединенный алкокси-радикал. В случае же, когда присоединен был ПЭГ гидрофильность пленки настолько высока, что даже не существует возможности измерить угол смачивания оной водой. Также, было выяснено, что способность к инкапсулированию у этих соединений растет по мере возрастания гидрофильности.

Список литературы: [1] Li Y.P., Pei Y.Y., Zhou Z.H., Zhang X.Y., Gu Z.H., Ding J., Zhou J.J., Gao X.J. PEGylated polycyanoacrylate nanoparticles as tumor necrosis factor- α carriers. *J Control Release*. **71**,287–96 (2001).

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СМЕСЕЙ ПОЛИЛАКТИД-НАТУРАЛЬНЫЙ КАУЧУК В ПРОЦЕССЕ ТЕРМООКИСЛЕНИЯ

Подзорова М.В.^{1,2}, Тертышная Ю.В.^{1,2}, Монахова Т.В.², Варьян И.А.^{1,2}

¹Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова

²Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля Российской академии наук
mariapdz@mail.ru

Говоря о многообразии современных полимеров, стоит выделить полиэферы, которые относятся к биоразлагаемым высокомолекулярным соединениям.

Исследования различных процессов деструкции, происходящих в полимерах под влиянием факторов окружающей среды крайне важно с точки зрения оценки эксплуатационных свойств материалов и перспектив их применения [1]. Кислород относится к агрессивным факторам, а в сочетании с температурой процессы разрушения ускоряются. Полимеры обычно подвергаются термоокислительной деструкции как в процессе обработки, так и в течение срока службы, что влияет на их эксплуатационные свойства [2, 3].

Одним из широко изучаемых полиэферов является полилактид (ПЛА). Отмечается, что механизм термической и термоокислительной деградации ПЛА является сложным процессом, включающим случайное расщепление цепи, гидролиз, внутримолекулярную и межмолекулярную переэтерификацию, деполимеризацию, цис-элиминацию и радикальную деградацию.

Изучении образцов ПЛА/НК (с содержанием НК 5, 10 и 15 мас.%) в процессе термоокислительной деструкции проводилось с применением манометрической установки при температуре 90 °С и давлении кислорода 300 мм рт. ст. Установлено, что у ПЛА сначала происходит достройка надмолекулярной структуры, а затем он включается в процесс окисления. Отмечается изменение теплофизических характеристик ПЛА и композиций ПЛА/НК: температура плавления повышается на 1-2°С, а степень кристалличности – на 3-7 %. После испытания значительные изменения наблюдаются у ПЛА на ИК-спектрах в области 4000 – 3500 см⁻¹: появляются полосы 3742 и 3820 см⁻¹, которые можно отнести к колебаниям ОН-групп концевых звеньев полилактида в процессе деструкции. Определено, что добавка натурального каучука в композиции сокращает период индукции и ускоряет процесс термоокислительной деструкции образцов ПЛА/НК.

Список литературы:

- [1] *Tertyshnaya Y., Podzorova M., Moskovskiy M. Polymers. 13 (3), 461 (2021).*
- [2] *Подзорова М.В., Тертышная Ю.В., Монахова Т.В., Попов А.А. Хим. Физика. 35 (9), 64-69 (2016).*
- [3] *Lu Sh., Zhang Y., Tan H. Waste Management 87, 335–344. (2019).*

Благодарности

Результаты исследования получены в рамках гранта Президента Российской Федерации на государственную поддержку молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-2082.2022.1.3.

ПОЛИМЕРЫ В ПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

Тамеев А.Р.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, г. Москва
tameev@elchem.ac.ru*

Полимеры широко используются для решения фундаментальных задач и являются перспективными материалами для разработки элементов электронных и оптоэлектронных устройств [1]. Наибольший интерес представляют те полимерные материалы, которые проявляют свойство электронной проводимости [2], фотопроводимости [3] или электролюминесценции [4] и способны к формированию тонких пленочных покрытий.

В докладе представлен обзор методов исследования электрических характеристик полимерных пленок, рассмотрены механизмы электронной проводимости в проводящих полимерах, фотогенерации и транспорта носителей заряда в полимерах с фотоактивными группами и донорно-акцепторных композитах, показаны электронные устройства (диод, фотодиод, светодиод, фотовольтаический элемент, полевой транзистор) и процессы, на основе которых они функционируют. Обсуждены современные направления в исследовании и разработке полимеров и композитов, включающих наноразмерными частицы и структуры.

Список литературы:

- [1] Пономаренко А.Т., Тамеев А.Р., Шевченко В.Г. Успехи химии **87**, 923 (2018).
[2] Iakobson O. D., Gribkova O. L., Tameev A. R., Kravchenko V. V., Egorov A. V., Vannikov A. V. Synthetic Metals **211**, 89 (2016).
[3] Asandules M., Kostromin S., Tameev A., Aleksandrov A., Bronnikov S. ACS Applied Polymer Materials **3**, 4869 (2021).
[4] Александрова Е.Л., Светличный В.М., Некрасова Т.Н., Смыслов Р.Ю., Мягкова Л.А., Матюшина Н.В., Тамеев А.Р., Паутов В.Д., Кудрявцев В.В. Физика и техника полупроводников **47**, 1055 (2013).

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность руководителям лабораторий ИВС РАН д.ф.-м.н. С.В. Бронникову, д.х.н. В.М. Светличному, д.х.н. А.В. Якиманскому и сотрудникам лабораторий за совместную плодотворную работу.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНЫХ КАУЧУКОВ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Неверовская А.Ю., Возняковский А.П., Цыпкина И.М.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт синтетического каучука имени академика С.В. Лебедева», г. Санкт-Петербург
anna-neverovskaya@yandex.ru*

Перспективной тенденцией в последние десятилетия является получение полимерных композиционных материалов с использованием различных наноматериалов, в частности, углеродных нанотрубок (УНТ). Благодаря своим уникальным термическим, электрическим и механическим свойствам УНТ привлекают внимание в качестве модификаторов различных полимерных матриц [1, 2]. Наиболее широко используемыми полимерами для такой модификации являются каучуки общего назначения, производимые в промышленном масштабе. Основными полезными результатами при введении в них УНТ становятся улучшение физико-механических свойств, повышение твердости, термостабильности и других технологических свойств [3, 4]. Целью данной работы являлось получение и исследование композиционных материалов на основе бутадиен-стирольного каучука (БСК) и УНТ. Использовали одностенные (ОУНТ) и многостенные УНТ (МУНТ). ОУНТ и часть МУНТ подвергали очистке с использованием методики самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Исследовали влияние УНТ на матрицу БСК без усиливающего наполнителя (технического углерода), а также на свойства резин с заменой части технического углерода на УНТ. Как показали наши эксперименты, введение УНТ в объем полимерной матрицы увеличивает прочностные показатели резин, в том числе и при повышенных температурах испытаний. При этом проведение дополнительной очистки УНТ позволяет реализовать значительно более высокий эффект усиления, по сравнению с исходными УНТ (как одностенными, так и многостенными). Такой эффект мы связали с большей поверхностной активностью очищенных УНТ и более низким содержанием примесей за счет предварительной очистки. Наибольшее влияние на прочность композиционного материала на основе БСК оказывают ОУНТ. Однако рост прочностных показателей резин, модифицированных ОУНТ сопровождается значительным снижением их эластичности, что может негативно сказаться на сроках эксплуатации финишных изделий. Наиболее оптимальные характеристики композиционного материала обеспечиваются введением очищенных МУНТ. При этом удается получить композиционный материал с повышенной прочностью, но без потери эластичных свойств.

Список литературы:

[1] Иржак Т.Ф., Иржак В.И. Высокомолекулярные соединения. Серия А **59** (6), 485 (2017). [2] Yue D., Liu Y., Shen Z., Zhang L. J. Mater. Sci. **41**, 2541 (2006). [3] Frogley M.D., Ravich D., Wagner H.D. Comput. Sci. Technol. **63**, 1647 (2003). [4] Шилов М.А., Фомин С.В., Бритова А.А., Королев П.В. Жидкие кристаллы и их практическое использование **20** (4), 93 (2020).

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МОРФОЛОГИИ МУЛЬТИБЛОЧНЫХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ

Анохин Д.В.^{1,2}, Горбунова М.А.^{1,2}, Абукаев А.Ф.^{1,2}, Иванов Д.А.^{1,2}

¹*Национальный исследовательский технологический университет МИСИС,
Москва*

²*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии
Российской академии наук, Черноголовка
deniano@yahoo.com*

В последние годы термопластичные мультиблочные полиуретаны привлекают интерес благодаря своей биосовместимости, хорошим механическим свойствам и относительной простоте синтеза. Кроме того, данные материалы демонстрируют адаптивность к внешним воздействиям, изменяя свою форму и механические свойства, что делает их привлекательными для медицинских приложений в качестве «умных» стентов, повязок, хирургических и ортодонтических нитей и других [1]. Для подобных приложений необходимо не только программировать механический отклик на внешние факторы, длящийся секунды, но и контролировать медленные процессы физического старения, длящегося месяцы и даже годы. Для изучения таких сложных материалов необходима разработка новых методов исследования структуры в реальном времени с высоким временным и пространственным разрешением.

В настоящей работе представлены исследования процессов структурообразования в термопластичных полиуретанах с различным строением жесткого и мягкого блока и их взаимосвязи с термическими и механическими характеристиками. В частности, методами рентгеновской дифракции в больших и малых углах с использованием синхротронного излучения и сверхбыстрой нанокалориметрии на чипе показано влияние природы жесткого сегмента на кинетику кристаллизации полиуретанов [2]. Установлено, что алифатические, циклоалифатические и ароматические диизоцианаты обладают различной способностью к фазовому разделению мягкого и жесткого блоков, которая и определяет кинетику кристаллизации и фазовый состав полимера. Также установлено взаимное влияние двух кристаллизующихся блоков на особенности их кристаллизации и формирующуюся морфологию, что позволяет получать материалы с широким спектром механических, теплофизических и релаксационных свойств.

Список литературы:

- [1] *J. Bao et al. Phys. Chem. Chem. Phys.* **20**, 26479 (2018).
- [2] *M.A. Gorbunova, E.V. Komov, L.Y. Grunin, M.S. Ivanova, A.F. Abukaev, A.M. Itamutdinova, D.A. Ivanov, D.V. Anokhin Phys. Chem. Chem. Phys.* **24**, 902, (2022).
- [3] *M.A. Gorbunova, D.V. Anokhin, A.F. Abukaev, D.A. Ivanov Materials* **16**, 818, (2023).

Благодарности

Авторы благодарят Национальный университет науки и технологий МИСИС и государственную поддержку по проекту К1-2022-035 в рамках программы стратегического академического лидерства "Приоритет 2030".

МОРФОЛОГИЯ, ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИУРЕТАНИМИДНЫХ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВ И НАНОКОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Суханова Т.Е.¹, Светличный В.М.², Вылегжанина М.Э.², Диденко А.Л.²,
Гофман И.В.², Лапицкая В.А.³, Чижик С.А.³, Лебедев Н.В.¹

¹ФГБУ Научно-исследовательский институт синтетического каучука
им. акад. С.В. Лебедева, г. Санкт-Петербург

²ФГБУН Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

³Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАНБ, г. Минск, Беларусь
tat_sukhanova@bk.ru

В докладе приведен обзор результатов исследования широкого ряда нано- и микроструктурированных пленок термоэластопластов (ТЭП) на основе сегментных сополиуретанимидов (соПУИ), содержащих наночастицы различной природы, структуры и морфологии, с помощью комплекса зондовых методов: атомно-силовой микроскопии, наноиндентирования, нанотрибологии и растровой электронной микроскопии продуктов износа и поверхностей после трибологических испытаний. В качестве наполнителей использовали одностенные углеродные нанотрубки, углеродные нановолокна, графен, наночастицы дисульфида или диселенида вольфрама, при этом концентрацию наполнителей изменяли в диапазоне от 0.1 мас.% до 5 мас.%. Установлено, что химическая структура синтезированных соПУИ, состав, кристаллическая структура и морфология вводимых наночастиц, их концентрация в композите, а также природа подложки, на которой получали композиционные пленки, оказывают решающее влияние на структурно-морфологические, физико-механические, трибологические и другие характеристики формирующихся наноматериалов [1-5]. Продемонстрирована эффективность многопроходных испытаний при АСМ исследовании трибологических свойств поверхностей модифицированных соПУИ. Показано, что композиционные пленки имидсодержащих ТЭП, благодаря характерной мультиблочной морфологии, обладают хорошими механическими и трибологическими свойствами в сочетании с высокой износостойкостью, что делает их перспективными для использования в качестве антифрикционных покрытий (коэффициент трения < 0.05), а также в качестве мембран для первапорационного выделения ароматических углеводородов.

Список литературы: [1] Т.Е. Sukhanova, Т.А. Kuznetsova, V.A. Lapitskaya, et al. // In a Book: "Atomic-Force Microscopy and Its Applications". Eds. T. Tański, M. Staszuk, B. Ziębowicz. London: IntechOpen, 69-89 (2019). [2] Суханова Т.Е., Кузнецова Т.А., Вылегжанина М.Э., и др. // Труды XXIV Междунар. Симп. «Нанофизика и наноэлектроника», Н. Новгород, 10-13 марта, Т.1, 400-401 (2020). [3] Kuznetsova T.A., Zubar T.I., Lapitskaya V.A., et al. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 256, 012022, 1-7 (2017). [4] Суханова Т.Е., Кузнецова Т.А., Вылегжанина М.Э., и др.// Нанотехнологии: наука и производство, № 4, 55-64 (2017). [5] Суханова Т.Е., Вылегжанина М.Э., Диденко А.Л., и др. // Труды XXI Междунар. симп. "Нанофизика и наноэлектроника", Н. Новгород, Россия, 13-16 марта, Т.1, 331-332 (2017).

Благодарности Работа финансировалась РФФИ (№ 16-53-00178 Бел_а) и БРФФИ (№ Ф16Р-142).

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ
МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ**

Павлов Г.М.

*Институт высокомолекулярных соединений. Санкт-Петербург, Россия
georges.pavlov@mail.ru*

1. Должны ли оценки размеров макромолекул, получаемые из исследований разных типов движений, практически совпадать?
2. В каких случаях масса единицы длины макромолекулы должна/может включать в себя долю массы молекул её растворителя?
3. Почему теоретики не хотят/не могут заняться теорией поступательного трения гипер-разветвленных макромолекул/дендримеров, в дополнение к теории вращательного трения?
4. Еще один гидродинамический инвариант.

«УМНЫЕ» МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИБЕНЗИМИДАЗОЛОВ

Холхоев Б.Ч.¹, Бардакова К.Н.^{2,3}, Матвеев З.А.¹, Епифанов Е.О.², Ефремов Ю.М.³,
Тимашев П.С.^{2,3}, Бурдуковский В.Ф.¹

¹*Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук, г. Улан-Удэ*

²*Институт фотонных технологий, ФНИЦ «Кристаллография и фотоника»
Российской академии наук, г. Троицк, г. Москва*

³*Первый Московский государственный медицинский университет
им. И.М. Сеченова, г. Москва
holh_bat@mail.ru*

«Умные» полимерные материалы способны изменять свои физические свойства под внешним воздействием. Среди таких материалов неослабевающий интерес вызывают полимеры с эффектом памяти формы (ЭПФ), которые способны восстанавливать исходную форму из деформированного состояния под действием внешнего триггера – температуры, растворителя, рН среды, электричества, света, магнитного поля и т.д. В настоящее время особое внимание привлекают высокотемпературные полимеры с ЭПФ перспективные для использования в аэрокосмической индустрии, промышленности конструкционных материалов, электронике, сенсорике и др.

В настоящем исследовании показана возможность получения ряда новых материалов с ЭПФ на основе алифатических и ароматико-алифатических (со)полибензимидазолов (ПБИ). Обсуждаются особенности синтеза целевых ПБИ, оценивается влияние природы мономеров на молекулярно-массовые характеристики полимеров, а также их влияние на термические и физико-механические свойства материалов. Методом ДМА исследован ЭПФ полученных материалов. Было установлено, что коэффициент фиксации временной формы (R_f) для всех ПБИ составляет 99% и практически не меняется при циклических испытаниях, в то время как коэффициент восстановления исходной формы (R_r) варьируется в пределах 47-97% в зависимости от строения макромолекулярной цепи. Наилучшие характеристики ЭПФ демонстрирует соПБИ на основе 3,3'-диаминобензидина, 4,4'-окси(бис-бензойной кислоты) и додекандикарбоновой кислоты, содержащий 25% ароматических сегментов.

В рамках данной работы также разработаны новые фоточувствительные композиции на основе ПБИ, которые могут быть использованы для формирования объемных изделий с использованием технологии LCD 3D-печати. Показано, что полученные композиции пригодны для формирования термостойких, механически прочных трехмерных объектов заданной архитектоники. Более того, полученные материалы имеют превосходные характеристики ЭПФ: R_r и R_f составляют >96%.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 22-73-10011).

**ПОЛИ-2-ИЗОПРОПИЛ-2-ОКСАЗОЛИН. КОНФОРМАЦИЯ
МАКРОМОЛЕКУЛ, САМООРГАНИЗАЦИЯ В РАСТВОРАХ И
СОЛЮБИЛИЗАЦИЯ ГИДРОФОБНЫХ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ
ВЕЩЕСТВ**

Кирилэ Т.Ю., Козина Н.Д., Теньковцев А.В., Филиппов А.П.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
tatyana_pux@mail.ru*

Линейные поли-2-алкил-2-оксазолины обладают рядом интересных физических и химических свойств, которые делают их привлекательными для использования в различных областях науки и технологии. Поли-2-изопропил-2-оксазолины (ПипОЗ) являются полимерами, состоящими из повторяющихся единиц, содержащих оксазолиновое кольцо и 2-изопропильные заместители. Одно из важнейших их свойств - термочувствительность. В работе исследован ряд образцов ПипОЗ с варьируемой молекулярной массой (2600 – 22100 г/моль). Гидродинамические характеристики образцов получены методами молекулярной гидродинамики и оптики, процессы самоорганизации в воде изучены методами светорассеяния и турбидиметрии. Процессы солюбилизации гидрофобного куркумина изучались методами УФ-спектроскопии.

По полученным молекулярным массам, характеристическим вязкостям и гидродинамическим радиусам определены коэффициенты в уравнении Марка-Куна-Хаувинка. Показано, что ПипОЗ являются типичными гибкоцепными полимерами. С использованием теории Stockmayer-Fixman рассчитана длина сегмента Куна, которая оказалась равной $A = (1.7 \pm 0.2)$ нм.

Процессы самоорганизации макромолекул в водных растворах изучены в широком интервале концентраций и температур. Показано, что для всех исследованных ПипОЗ при возрастании молекулярной массы образца увеличивался гидродинамический радиус рассеивающих частиц, присутствующих в растворах при комнатной температуре и фиксированной концентрации. Обнаружена зависимость температур фазового перехода от концентрации, а также зафиксировано сужение интервала фазового разделения с ростом концентрации. При увеличении молекулярной массы ПипОЗ температура фазового разделения снижается.

По УФ-спектрам растворов определяли константу устойчивости комплексов ПипОЗ-куркумин. Показано, что увеличение молекулярной массы образца приводит к возрастанию константы устойчивости. Методом светорассеяния зафиксировано появление в растворе мицеллоподобных структур при переходе от водных растворов ПипОЗ к раствору комплекса.

НАНОРАЗМЕРНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ГИДРИРОВАНИЯ CO₂ В МЕТАНОЛ: РОЛЬ ПОЛИМЕРНОГО СЛОЯ

Сорокина С.А.¹, Григорьев М.И.², Кучкина Н.В.¹, Сульман М.Г.^{1,2}, Шифрина З.Б.¹

¹*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,
г. Москва*

²*Тверской государственный технический университет, химико-технологический
факультет, г. Тверь
sorok.svetlana@gmail.com*

Эффективное преобразование CO₂ в продукты тонкой химии имеет большое экономическое и экологическое значение. В последние годы наблюдается стремительный рост числа разработок, связанных с каталитическим преобразованием CO₂ в химические вещества. Прямое использование CO₂ в качестве источника углерода облегчает доступ к разнообразным молекулам, при этом также решая проблемы, связанные с накоплением CO₂ в окружающей среде. Для процесса гидрирования CO₂ в метанол были разработаны катализаторы, состоящие из неорганического носителя (SiO₂, Al₂O₃), покрытого слоем сверхразветвленного пиридилфениленового полимера с включенными НЧ оксида железа, и каталитически активных металлов – Zn, Cr, Ni, In, Co [1]. Было обнаружено, что помимо простоты отделения, НЧ Fe₃O₄ оказывают промотирующий эффект на каталитическую активность за счет формирования дополнительных кислородных вакансий. Стоит отметить, что катализаторы, используемые в данном процессе, страдают от агрегации НЧ в ходе реакции под влиянием жестких условий (давление, температура), наличия паров воды и недостаточной стабилизации НЧ, в результате чего их активность в последующих циклах драматически снижается. Поэтому для данного процесса был разработан способ нанесения полимерного слоя на неорганический носитель. Нанесение тонкого слоя, координирующего метал, полимера позволило избежать указанных проблем. Помимо стабилизации активных частиц и протектирующего действия от паров воды, нанесение слоя пиридилфениленового полимера способствовало улучшенной адсорбции молекул CO₂, за счет взаимодействия пиридинов с электроположительным атомом углерода в молекуле углекислого газа. В результате активность разработанных катализаторов практически в пять раз превысила активность коммерческих аналогов, а выдающаяся стабильность позволила использовать катализаторы в 6 последовательных циклах без потери активности.

Список литературы:

[1] Sorokina S.A., Kuchkina N.V., Grigoriev M.E., Ratnikov A.K., Doluda V.Yu, Sulman M.G., Shifrina Z.B. *Catalysts* **13** (1), 1 (2023).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект №22-43-02025.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИХ ИОНИТОВ

Эшкурбонов Ф.Б., Рахмонкулов Ж.Э., Нормуродов Ж.Б., Бобокулова М.Ш.

Использование комплексообразующих ионитов, созданных на основе предложенного состава, позволяет максимально (до 85-97%) очистить сточные воды в различных технологических процессах производства тканей. Таким образом, технологическая схема, основанная на принципе разделения сточных вод на потоки по характеру загрязнения, позволяет снизить экономический ущерб от сброса в сточные воды красителей, СЖМ и т.п. Из полученных экспериментальных данных видно, что при использовании для очистки сточных вод текстильной промышленности диметилкарбамида и комплексообразующих ионитов на основе диметилтиокарбамида степень очистки составляет 95 %, что соответствует санитарным нормам, отвечающим технологическим требованиям. Основным процессом сорбционной очистки промышленных сточных вод является адсорбция - то есть воздействие коллоидных и мелкодисперсных частиц в сточных водах агрегатами, образующимися при введении в сточные воды ионита. При использовании в качестве ионитов ДМК+ФК и ДМТ+ФК в результате гидролиза образуются менее растворимые в воде катионы и анионы, которые сорбируют взвешенные частицы, мелкодисперсные и коллоидные вещества и оседают на дно отстойника в форма осадков при благоприятных гидродинамических условиях. В таблице 1 показано снижение концентрации СФМ в зависимости от количества ионита при очистке первого потока сточных вод. В результате изучения зависимости степени очистки сточных вод от количества ионов установлено, что она составляет 0,75-1,0 г/л для ДМК+ФК и 0,375-0,75 г/л для ДМТ+ФК (для безводного солевого продукта), в котором степень чистоты ККС (химическое потребление кислорода) равна 40-48%, интенсивность окраски равна 85-87%. Дальнейшее увеличение количества ионов не меняет эффективности очистки.

Таблица 1 - Оптимальное количество ионитов, комплексообразующих первый поток сточных вод красильно-отделочного цеха

Входящая вода		Ионит		рН	
ККС мг/л	Интенсивность цвета	Бренд	Количество, г/л	Перед очисткой	После очистки
790	1:316	ДМТ+ФК	1,0	7,60	6,76
790	1:316	ДМК+ФК	0,375	7,60	6,68

Использование ионитов в очистке, несмотря на их высокую стоимость, имеет определенные преимущества перед минеральными коагулянтами - они могут использоваться более эффективно и в малых количествах, не обладают коррозионным действием, легко транспортируются, уменьшают объем минеральных коагулянтов и, следовательно, , осадки и не увеличивают количество солей в очищенной воде. Поэтому использование ионитов повышает эффективность удаления красителей.

Список литературы: [1] Рахмонкулов Ж.Э., Эшкурбонов Ф.Б., Нормуродов Ж.Б., Жураев М.А. Комп.материал. Узб. **3**, 22-25 (2022).

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УГЛЕРОДНЫХ ФУЛЛЕРЕНОВ С ПОЛИМЕРАМИ

Игуменова Т.И.

*Воронежский филиал ФГБУ «Научно-исследовательский институт
синтетического каучука» им. академика С.В. Лебедева, г. Воронеж
t02081960@yandex.ru*

Изучение механизма взаимодействия углеродных наноматериалов с высокомолекулярными соединениями является одной из фундаментальных проблем физики и химии полимеров [1]. В работе представлены обобщенные результаты исследований влияния смеси углеродных фуллеренов фракции C50-C92 на широкий спектр свойств ряда полимеров и композитов на их основе. Образцы материалов получены смешением полимер-фуллерены в твердой фазе, а также изучено влияние фуллеренов на свойства растворов полимеров. Обнаружено изменение поверхностного натяжения двухкомпонентных растворов полимер-фуллерены с соответствующим изменением энергии Гиббса при изменении концентрации фуллеренов.

Показано, что смешение углеродных фуллеренов с каучуками различной химической природы позволяет сформировать улучшенный комплекс физико-механических характеристик композиционных материалов для работы изделий в сложных условиях эксплуатации в зависимости от вида полимерной основы, поверхностной активности и дисперсности основного наполнителя композиционного материала. [2]

Сформулированы особенности комплексного влияния углеродных фуллеренов как полифункциональных модификаторов для полимеров и полимерных композитов, в частности предложен механизм окисления (разрушения) различных видов полимеров, позволяющий избирательно применять углеродные фуллерены в качестве термостабилизатора, антиоксиданта или противоутомителя в зависимости от условий эксплуатации и назначения полимерного композита.

Применение хемометрического метода при анализе изменения свойств полимеров при модификации фуллеренами позволяет получить достоверные данные о физико-химических реакциях и провести идентификацию наличия микроколичеств фуллеренов в многокомпонентных полимерных смесях. [3]

Список литературы:

- [1]. *Акатов Е.С., Игуменова Т.И., Попов Г.В., Гудков М.А.* Формирование свойств полимерных композитов с использованием смесей углеродных материалов. *Journal of Physics: Conference Series*. April 2011. V.291 (III Nanotechnology International Forum. 1-3 November.2010. Moscow. Russia), <http://iopscience.iop.org/1742-6596/291/1>
- [2] *Chichvarin A.V., Igumenova T.I., Kraht L.N.* Modification of butyl rubbers and its galoid analogues by carbon fullerenes / "European Journal of Natural History" №2, 2013, p. 23-25
- [3] *Чичварин А.В., Игуменова Т.И., Крахт Л.Н.* Исследование инфракрасных спектров пленок каучуков в присутствии модификаторов наноразмерного типа с интерпретацией результатов на основе хемометрического подхода // *Фундаментальные исследования*. 2011. № 12-1. С. 194-198.

ФТАЛОНИТРИЛ-МЕТАКРИЛОВЫЕ МОНОМЕРЫ ДВОЙНОГО ОТВЕРЖДЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОСТОЙКИХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ СТЕРЕОЛИТОГРАФИИ

Алексанова А.А., Бабкин А.В., Морозов О.С.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
aleksanova.aa@mail.ru

Стереолитография (SLA) — это технология производства трехмерных объектов высокой точности, которая использует лазерный свет для затвердевания жидкой смолы по слоям. Поскольку SLA имеет ограничения по природе веществ, которые могут быть использованы в данной технологии, существует необходимость модификации функциональных групп, способных к фотополимеризации. В данной работе рассматривается возможность увеличения термостойкости фотополимерных матриц путем внедрения в структуру мономера более термостойкой функциональной группы — фталонитрильной. Поскольку фталонитрилы не способны отверждаться под УФ-излучением, полученную после печати модель подвергают термическому постотверждению (рис. 1).

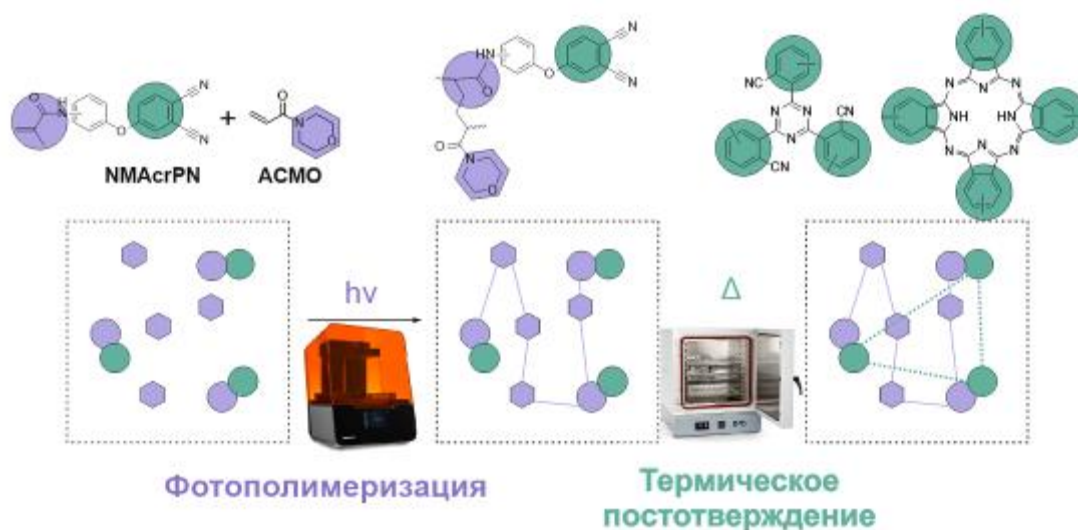


Рис. 1 - Схема образования сшитой термостойкой структуры на различных этапах отверждения.

Ранее нашей научной группой был получен бифункциональный малеимид-фталонитрильный мономер, содержание которого ограничивалось растворимостью мономера в фотополимерной смеси [1]. Введение метакриловых групп в мономер увеличивает его растворимость в метакриловых сополимерах, что приводит к большему содержанию фталонитрильных групп, а, как следствие, к увеличению термостойкости конечного термически постотвержденного состава. На основе данных мономеров были получены фотополимерные композиции, подобраны условия для печати и изучены термические свойства конечного материала.

Список литературы:

[1] Nechausov S.S., Aleksanova A.A., Morozov O.S., Bulgakov B.A., Babkin A.V., Kerpman A.V., Avdeev A.V. Heat-Resistant Phthalonitrile-Based Resins for 3D Printing via Vat Photopolymerization, ACS Appl. Polym. Mater. 6958–6968.

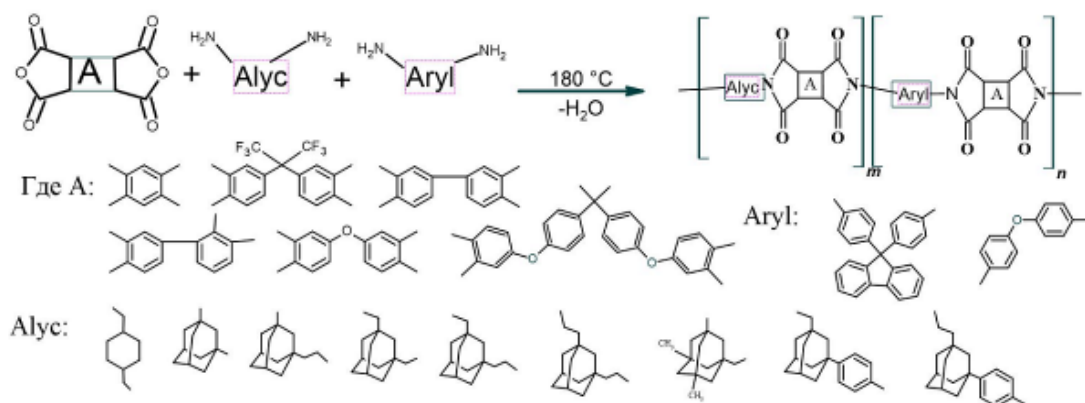
СИНТЕЗ НОВЫХ (СО)ПОЛИИМИДОВ НА ОСНОВЕ ЖИРНЫХ И ЖИРНОАРОМАТИЧЕСКИХ АДАМАНТАНСОДЕРЖАЩИХ ДИАМИНОВ С УЛУЧШЕННЫМИ ОПТИЧЕСКИЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Пичугин А.М., Савельев Е.Н., Алыкова Е.А., Новаков И.А.

Волгоградский государственный технический университет
alexandr.5420@yandex.ru

Бурно развивающаяся область оптоэлектроники и развитие производства носимых гибких гаджетов диктует всё более строгие требования к гибким прозрачным диэлектрикам – ключевым компонентам подложек гибких дисплеев. Они должны обладать высокой оптической прозрачностью, низким индексом желтизны, хорошими физико-механические свойства и высокой термостойкостью. Одним из наиболее перспективных классов полимеров для этих целей являются полиимиды, однако для производства прозрачных бесцветных полиимидных плёнок (СТРІ) требуется учитывать множество факторов: от подбора мономеров оптимальной структуры до растворителя, из которого выливается плёнка.

Для поиска наилучших мономеров для получения СТРІ были проведены квантово-химические расчеты методом теории функционала плотности с использованием обменно-корреляционного функционала B3LYP на гауссовом базисе (DFT). Были рассчитаны значения $\Delta\epsilon$ не только для одиночных мономерных звеньев, но и впервые для димеров и комплексов димеров с растворителями. Далее были синтезированы наиболее перспективные диамины, на основе которых был получен ряд (со)полиимидов. Схема получения и основные мономеры представлены ниже:



Полученные на основе жирных и жирноароматических адамантансодержащих диаминов новые (со)полиимидные плёнки обладают хорошей оптической прозрачностью (T_{400} до 89%) и диэлектрическими свойствами (диэлектрическая проницаемость до 2,30), при сохранении остальных эксплуатационных свойств на должном уровне. Полученные результаты говорят о перспективе использования данного подхода для целенаправленного синтеза СТРІ.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке ВолГТУ по проекту № 17/474-22.

МЕМБРАНА НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО МОДИФИКАТОРА ДЛЯ ГАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ

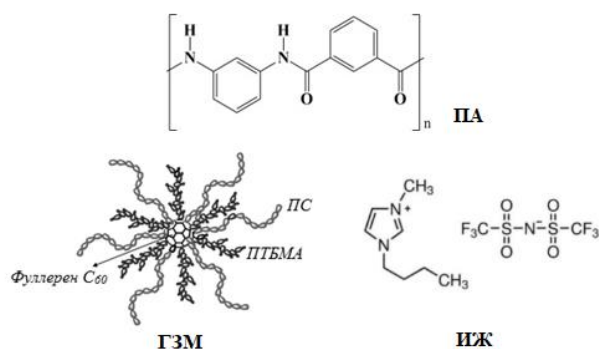
Файков И.И.¹, Полоцкая Г.А.^{1,2}, Курьиндин И.С.², Зоолшоев З.Ф.², Пулялина А.Ю.^{1,3}

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии

²Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург

³ФГБУН Федеральный исследовательский центр “Кольский научный центр РАН”,
г. Апатиты
st022544@student.spbu.ru

В настоящей работе была исследована новая гибридная мембрана на основе полифениленизофталамида (ПА) с включением комплексного модификатора, состоящего из равных количеств гетеролучевых звездообразных макромолекул с центром ветвления фуллерен C₆₀ (ГЗМ) и ионной жидкости (ИЖ) [BMIM][Tf₂N]. Были проанализированы структурные особенности гибридной мембраны ПА/(ГЗМ:ИЖ), а также физические, механические, термические и газотранспортные свойства с привлечением методов сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), капиллярной вискозиметрии и термогравиметрического анализа.



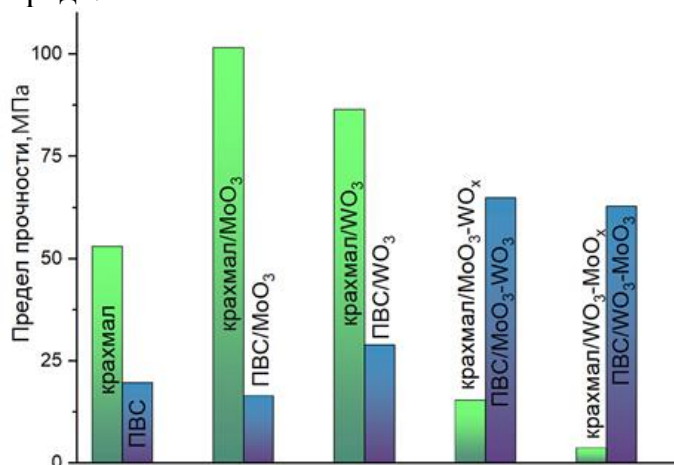
Капиллярная вискозиметрия позволила установить наличие в формовочных полимерных растворах макромолекулярных агрегатов, указывающих на вероятность межмолекулярных взаимодействий между компонентами мембраны в растворе. На изображениях СЭМ поперечных сколов мембран наблюдалась ячеистая структура гибридной мембраны и присутствие сферических доменов, равномерно распределенных в матрице ПА. Газоразделительные свойства мембраны оценивали на основании данных о проницаемости индивидуальных газов He, O₂, N₂ и CO₂. Изменение коэффициентов проницаемости газов согласовывалось с различиями в их эффективном молекулярном диаметре, при этом при введении комплексного модификатора наблюдалось снижение проницаемости. В то же время, идеальная селективность гибридной мембраны при разделении пар He/N₂, CO₂/N₂ и O₂/N₂ увеличивалась. Положение мембраны ПА/(ГЗМ:ИЖ) на диаграмме Робсона, включающей данные по селективности O₂/N₂ для различных полимеров, было улучшено по сравнению с положением исходной мембраны ПА.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НЕОРГАНИЧЕСКОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Шибаетова В.Д., Евдокимова А.В., Сироткин Н.А., Хлюстова А.В.

*Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, г. Иваново
vds@isc-ras.ru*

Композитные материалы на основе полимера и неорганического наполнителя могут обладать улучшенными механическими свойствами. При этом природа наполнителя, его структура, химический состав и концентрация могут как положительно, так и отрицательно влиять на прочность получаемых материалов [1-3]. В данной работе рассматриваются результаты механических испытаний композитов на основе поливинилового спирта (ПВС) и крахмала и фотохромных агентов (MoO_3 , WO_3 , $\text{MoO}_3\text{-WO}_x$, $\text{WO}_3\text{-MoO}_x$, где $2 < x < 3$). Оксиды синтезировали по золь-гель технологии, а бинарные структуры получали путем плазмохимической модификации полученных зольей с использованием подводного диафрагменного разряда.



Результаты испытаний показали, что добавки MoO_3 и WO_3 существенно повышают механическую прочность композитов на основе крахмала. Внедрение бинарных структур оказывает негативный эффект. Противоположные результаты были получены для композитов на основе ПВС. Обсуждены факторы, оказывающие положительное и отрицательное влияние на механические характеристики композитных материалов.

Список литературы:

- [1] Ramaraj B., Nayak S.K., Yoon K.R. J. Appl. Polym. Sci. **116**, 1671 (2010).
- [2] Han Y., Wang H., Jiao X., Chen D. J. Appl. Polym. Sci., **137**, 49158 (2020).
- [3] Kayış A., Kavgacı M., Yaykaşlı H., Kerli S., Eskalen H. Glass Phys. Chem., **47**, 451 (2021).

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность научному сотруднику НИО 3 А. С. Краеву. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-23-00051).

МАКРОКИНЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ МОДЕЛЬНОГО МОНОМЕРА ЛИГНИНА – КОРИЧНОЙ КИСЛОТЫ

Агаркин С.А.^{1,2}, Ломовский И.О.²

¹Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

²Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск
s.a.agarkin@gmail.com

Механохимическая обработка является простым в использовании, экологичным и легко масштабируемым методом физико-химической модификации веществ и материалов. Лигнин – распространенный полимер природного происхождения, является многотоннажным сырьём, но обладает разветвлённой аperiodической структурой, сложной в обработке. В данной работе поставлены задачи по изучению механохимического окисления модельного мономера лигнина – коричной кислоты – путём совместной механической обработки (МО) с перкарбонатом натрия – кристаллосольватом карбоната натрия и пероксида водорода.

В последнее время развиваются макрокинетические исследования механохимического разложения органических загрязнителей с помощью совместной МО с неорганическим реагентом. Современные модели математического описания позволяют получить достоверные данные о кинетических константах механохимических реакций, что позволяет в дальнейшем применить полученные данные на более сложных системах [1].

В работе поставлена методика количественного анализа коричной кислоты методом ВЭЖХ-УФ, с помощью которой получены кинетические кривые окисления коричной кислоты перкарбонатом натрия, а также реакционной смеси в целлюлозе, взятой в качестве устойчивого разбавителя. Кинетические кривые описаны с помощью современных моделей. С помощью электронного парамагнитного резонанса (ЭПР спектроскопии) рассмотрен процесс распределения частиц в среде целлюлозы по времени МО.

Для исключения термического разложения коричной кислоты, а также разложение посредством индивидуальной МО рассмотрено термическое разложение образцов методом термической гравиметрии, а также количественный анализ образцов без окислителя.

Список литературы:

[1] *Vakili M., Qin R., Cagnetta G., Huang J., Wang B., Yu G. Chemosphere* **284**, #131307 (2021).

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта РНФ 21-13-00046.

СТРУКТУРНО-КОНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СОПОЛИФЛУОРЕНОВ В РАЗБАВЛЕННЫХ РАСТВОРАХ

Зеленцов М.Д.^{1,2}, Симонова М.А.², Литвинова Л.С.²,
Жукова Е.В.², Филиппов А.П.², Якиманский А.В.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербург, Россия

²Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия
dart.xergus@ya.ru

Сополифлуорены являются перспективными материалами для различных устройств: светодиоды, полевые транзисторы, солнечные батареи. Одна из важнейших характеристик полифлуоренов – возможность задавать электрооптические свойства будущего материала введением люминофоров, донорно-акцепторных и зарядо-транспортных групп в состав макромолекулы. В данной работе сополифлуорены были функционализированы через сомономерные звенья 9,9-бис-(4-фенокси)-флуорена, что позволило сохранить у полимера длину сопряжения. Для улучшения полупроводниковых свойств сополифлуорена использовали электроноакцепторный дифенилоксадиазольный компонент М1, а также донорные карбозоильные (М2, Р3-202) или трифениламиноновые (М3, Р4-203 и М4, Р5-204) звенья. Кроме того, в боковых цепях (сомономерные звенья 2,7-[9,9-бис-(6'-диэтоксифосфорилгексил)]-флуорен-ПЭ) сополимеров Р6-Р8 содержатся полярные группы, улучшающие проводимость и эмиссионную способность сополифлуоренов. Методами молекулярной гидродинамики и оптики исследованы разбавленные растворы сополифлуоренов (СП) Структуры сомономеров представлены на Рисунке 1.

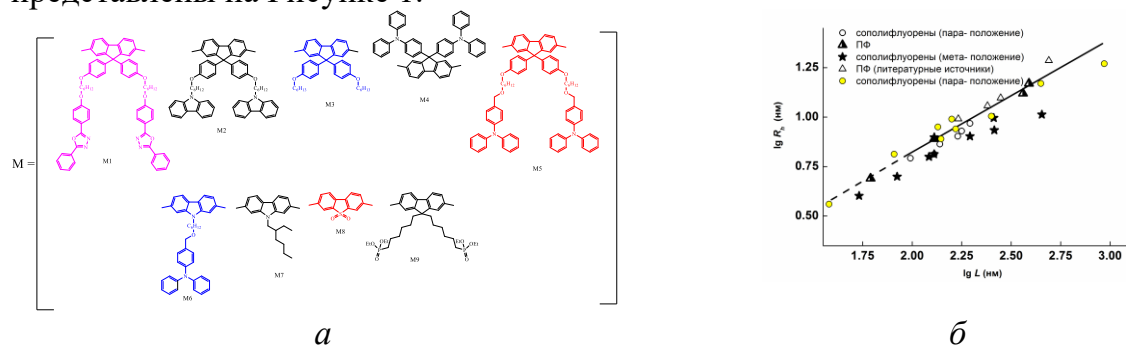


Рис. 1 - Структуры сомономеров (а), зависимость гидродинамических радиусов эквивалентной сферы для СП от контурной длины (б).

Как видно на рисунке 1,б на графике зависимости гидродинамических радиусов эквивалентной сферы от контурной длины точки, характеризующие размер СП располагаются близко к экспериментальным данным, полученным для линейных полифлуоренов. соответственно можно заключить, что для всех исследованных сополифлуоренов, независимо от строения сомономеров, равновесная жесткость близка к жесткости линейных полифлуореновых цепей.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ КАТЕХИНОВ ЗЕЛЕННОГО ЧАЯ ПРИ ИНКАПСУЛЯЦИИ МАЛЬТОДЕКСТРИНОМ

Яновский М.Д., Ломовский И.О.

¹Новосибирский государственный университет, Новосибирск

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск
m.yanovskii@g.nsu.ru

В зеленом чае содержатся четыре производных флавонола: эпикатехин (ЕС), эпигаллокатехин (EGC), галлат ЕС (ЕСG) и галлат EGC (EGCG), которые составляют 6-16% сухих листьев. Они проявляют сильную антиоксидантную и антиангиогенную активность, а также способность подавлять пролиферацию клеток и модулировать метаболизм канцерогенов [1],[2]. Проблемы хранения и доставки катехинов до клеток организма заключаются в их неустойчивости при контакте с кислородом воздуха (особенно при нагревании), повышении рН среды, деградации в процессе пищеварения [3]. В определенной степени эта проблема решается с помощью метода инкапсулирования, который предполагает физическое встраивание нестабильных биологически активных соединений в матрицу макромолекул, что приводит к росту устойчивости катехинов к условиям внешней среды.

Целью данной работы являлось сравнение устойчивости катехинов зеленого чая в обычном и инкапсулированном видах к окислению кислородом воздуха при нагревании.

Инкапсулированные образцы получили методом распылительной сушки. Методом СЭМ и с помощью анализатора размера частиц, определили размер полученных частиц, который составлял порядка 1-10 мкм. Методом ВЭЖХ-УФ определили степень инкапсуляции катехинов, которая составила 100% для EGC, 92,8% для EGCG и 84,1% для ЕСG. Образцы экстракта и инкапсулята были подвергнуты термической обработке при различных температурах (65-70°C для экстракта и 144-154°C для инкапсулята) и доступе воздуха. Были оценены эффективные константы скоростей окисления образцов в приближении псевдопервого порядка и наблюдаемые энергии активации. Показано положительное влияние инкапсуляции катехинов на их устойчивость к окислению кислородом воздуха при нагревании (при переходе от сухого экстракта к инкапсулятам и повышении температуры более чем в 2 раза катехины в образцах окислялись за сравнимое время). Показано, что лимитирующей стадией процесса окисления является кинетика химической реакции.

Список литературы:

- [1] Yang C. S. et al. Annual review of nutrition. – 2001. – Т. 21. – №. 1. – С. 381-406.
- [2] Henning S.M. et al. Nutrition and Cancer. 2003. Vol. 45, № 2. P. 226–235.
- [3] Komatsu Y. et al. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. 1993. Vol. 57, № 6. P. 907–910.

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта РНФ 21-13-00046.

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАФИТОВЫХ РАСТВОРОВ
СОПОЛИМЕРА АКРИЛОНИТРИЛА ИХ ПРИМЕНЕНИЕ**

Ходжаева Н.К., Холмуминов А.А.

*Физический факультет Национального университета Узбекистана имени Мирзо
Улугбека, г. Ташкент, Узбекистан
xnasiba_1984rambler.ru*

Присутствие графита (ГТ) в растворах, смесях, композитах полимеров, безусловно, повышает их электропроводимость, что представляет большой практический интерес. Графит обычно не растворяется в известных растворителях полимеров, в частности, сополимера акрилонитрила (со-АН). Однако возможно получение суспензии добавляя в раствор со-АН порошков ГТ. Данная работа выполнена в этом аспекте, в которой к растворам со-АН в ДМФА добавлены графитовые частицы (размерами 0,5 – 2,0 мкм) и получены суспензии, различающиеся гидродинамическими, реологическими и электрофизическими свойствами.

Приготовлен 1 % ный раствор со-АН в 51,5 %ном NaCNS и методом вискозиметрии измерена характеристическая вязкость $[\eta] \approx 2,0$ дл/г. Рассчитано значение молекулярной массы $M_n \approx ([\eta]/2,3 \times 10^{-4})^{1/0,78} = 152000$. Для получения суспензии раствор со-АН приготовлен в ДМФА и соотношение ГТ:со-АН:ДМФА составляло 5:5:100.

Поведение суспензии исследовали в сдвиговом потоке, генерированном в системе коаксиальных цилиндров на приборе Релотест-2. Выявлен неньютоновский характер течения суспензии, свойственный для полимеров. При этом не наблюдалось фазовое разделение графита и сополимера акрилонитрила, что свидетельствует об образовании устойчивой суспензии ГТ:со-АН:ДМФА в ламинарном потоке сдвигового поля. Исследования, проведенные при температурах 25°C, 40°C и 55°C также показали фазовую устойчивости суспензии. Значение энергии активации вязкого течения оказалось равное $E_a = 27,5$ кДж/моль, что показывает отсутствие химических разрывов в макромолекулах, т.е. суспензия сохраняет устойчивость в сдвиговом потоке.

Продольное течение суспензии генерировали в капиллярном вискозиметре Кувшинского. Здесь также обнаружили ярко выраженное неньютоновское течение суспензии, причинами которого является высокое ориентационное упорядочение макромолекул в продольном поле. Об этом свидетельствует достижение высокой степени фактора ориентация макроцепей ($\beta = 0,6 - 0,8$), который был косвенно измерен методом двулучепреломления.

Пробные опыты показали, что данная суспензия проявляет высокую чувствительность при воздействии электрического поля и на ее основе может быть сформировано электропроводящее композиционное покрытие на поверхности электрода методом электролиза или нановолоконное нетканое покрытие на поверхности электродов методом электроспиннинга.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПОЛНЕННОГО КОМБИНИРОВАННЫМ НАНОПОЛНИТЕЛЕМ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТА

Тимошенко М.В.¹, Балабанов С.В.¹, Сычев М.М.^{1,2}

¹Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова, РАН, г. Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный технологический институт,
г. Санкт-Петербург
timoshe-mikhail@mail.ru

Технология послойного наплавления набирает все большую популярность, наиболее распространена технология FDM, благодаря недорогому и распространенному сырью, а также недорогой, простой в изготовлении и обслуживании механической части.

Наряду с использованием стандартного и легкодоступного материала для 3D печати, часто встает вопрос о недостаточности механических характеристик, таких как упругость и прочность. Термоэластопласты (ТЭП) находят все большее применение в данной отрасли благодаря своим упруго-прочностным характеристикам. Термопластичные эластомеры - это гибридные материалы, обычно изготовленные из термопластов и эластомеров, с низкой твердостью, относительно других пластиков, которые могут выдерживать большие деформации без разрушения [1]. Армирование материала на основе ТЭП является актуальной задачей для дальнейшего развития отрасли, поскольку позволит создавать из него изделия с уникальными полезными свойствами.

Однако армирование в расплаве является очень сложной задачей, поскольку вязкость материала очень высока и требуются большое усилие сдвига и время распределения. В качестве армирующего наполнителя использовался графен марки ГПС производства компании «ПКФ Альянс» и многослойные углеродные нанотрубки.

При введении комбинации графена и углеродных нанотрубок, были исследованы деформационные кривые растяжения и сжатия материала. Отмечается наилучшее соотношение графена и УНТ 1:3 соответственно, прирост прочности при растяжении при таком соотношении 35%, прочности при сжатии на 50%, сопротивление раздиру возросло на 20%.

По результатам исследований, стоит отметить, что образцы, с введением наполнителя 0.4% масс, имеют прочность, превосходящую ненаполненный материал, а также выдерживаемое напряжение на всем протяжении деформационных кривых. Можно сделать вывод о том, что при одинаковом воздействии на изделие, образец с наполнением графен/УНТ будет меньше деформироваться, что продлевает срок его службы.

Список литературы:

[1] Banerjee S.S., Bhowmick A.K. High-temperature thermoplastic elastomers from rubber-plastic blends: A state-of-the-art review. Rubber Chem. Technol. 2017;90:1–36.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-73-10171).

ЭФФЕКТ ЧЁТНОСТИ В ГОМОЛОГИЧЕСКОМ РЯДУ Н-АЛКАНОВ

Борисов А.К., Марихин В.А., Егоров В.М.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия
borisov.ak@mail.ioffe.ru

Установление природы и эволюции фазовых переходов в твердых телах, включая полимеры и длинноцепочечные молекулярные кристаллы (ДМК), составляет один из важнейших разделов физики твердого тела. ДМК н-алканов в силу высокой энергоэффективности являются наиболее перспективными материалами с изменяющейся фазой (Phase Change Materials, РСМ) [1]. Гомологический ряд монодисперсных н-алканов с длинами цепей от 16 до 25 атомов углерода (производства “Sigma-Aldrich”) исследовался методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на калориметрах ДСК 500 «Спецприбор» и Seiko DSC 6100 в атмосфере азота со скоростями 0.25 – 25 К/min. Рассмотрение данного гомологического ряда поможет решить как фундаментальные задачи, связанные с исследованием кинетики фазовых переходов в н-алканах, так и практические, связанные с эффективным применением н-алканов как РСМ. С помощью анализа полученных температурных зависимостей теплоемкости выявлены два фазовых перехода (ФП) при нагревании и при охлаждении для всех исследуемых образцов, кроме $C_{16}H_{34}$, $C_{18}H_{38}$ и $C_{20}H_{42}$, для которых было установлено температурное слияние двух переходов, что проявляется в явном искажении формы пиков теплоемкости. На всех кривых ДСК наблюдается несоответствие температур максимумов при нагревании и охлаждении, т.е. температурный гистерезис. Применение специально разработанного метода [2] позволило установить истинные температуры фазовых переходов, природу наблюдаемых температурных гистерезисов, а также соответствие первых максимумов твердофазным переходам первого рода (ФП-1), а вторых – фазовым переходам второго рода (ФП-2), связанным с плавлением или кристаллизацией. Проведенный в данной работе анализ профилей ДСК кривых позволил обнаружить эффект четности, заключающийся в зависимости термодинамических параметров ФП-1 от симметрии молекул н-алкана, не наблюдающийся для ФП-2. Применение теории размытых фазовых переходов [3] для анализа пиков теплоемкости ФП-1 позволило установить гетерогенную природу ФП-1 и выявить эффект четности на наноуровне, наблюдающийся непосредственно в протекании ФП, а именно в размерах нанозародышей новой фазы, объем которых оказался в два раза больше в нечетных н-алканах, по сравнению с четными. Предложено объяснение обнаруженного эффекта четности, основываясь на отличиях в потенциальных барьерах для перехода из орторомбической и триклинной симметрии укладки молекул в гексагональную. Также предполагается различная динамика потенциальных барьеров при увеличении числа атомов углерода для н-алканов, имеющих различную молекулярную симметрию.

Список литературы:

- [1] Ana Lazaro, Conchita Peñalosa, Aran Solé et al. Applied Energy. **109**, 415 (2013).
- [2] Yamamoto T., Nozaki K., Hara T. J. Phys. Chem. **92**, 631 (1990).
- [3] Малыгин Г.А. Ж. УФН. **171**, 187 (2001).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИКИ И КИНЕТИКИ РЕАКЦИИ ОТВЕРЖДЕНИЯ ЭПОКСИДНОГО КОМПОЗИТА, НАПОЛНЕННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ ЖЕЛЕЗА, В ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Ильинова К.О.¹, Сафронов А.П.^{1,2}

¹Уральский федеральный университет, Институт естественных наук и математики г. Екатеринбург

²Институт электрофизики Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург
ksenyailinova@mail.ru

В качестве полимерной матрицы композиционных материалов часто используют эпоксидные смолы (ЭС), которые легко отверждаются, образуя сетчатую структуру. Метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) применяется для получения информации о термодинамике и кинетике процесса отверждения как в политермическом, так и в изотермическом режиме. Целью данной работы являлось калориметрическое исследование процесса отверждения ЭК, наполненного наночастицами железа, методом ДСК в изотермическом режиме при разных температурах и установление влияния наночастиц железа на энергию активации данного процесса. Объектами исследования являлись эпоксидные композиты (ЭК) на основе ЭС торговой марки ЭД-20 и отвердителя метафенилендиамина, наполненные 20% (вес.) сферических наночастиц железа (НЧ) с удельной поверхностью 9.0 м²/г и средним диаметром частиц 97 нм. Калориметрическое исследование проводили с помощью дифференциального сканирующего калориметра SETARAM DSC-131 в следующем режиме: со скоростью 5 К/мин линейно поднимали температуру от начального значения -10°С до заданного значения в диапазоне от 65 до 120 °С, которое поддерживали постоянным в течение 180 мин. За это время происходило изотермическое отверждение ЭК при заданной температуре. После этого в режиме линейного разогрева со скоростью 5 К/мин поднимали температуру до 250 °С. Обнаружено, что процесс отверждения ЭК происходит в два этапа. На первом этапе в изотермическом режиме происходит лишь частичное отверждение образца, на втором этапе в режиме линейного разогрева реализуется доотверждение ЭК. С ростом температуры термостатирования энтальпия процесса отверждения в изотермическом режиме увеличивается, а энтальпия доотверждения уменьшается. Изучено влияние наноразмерных частиц железа на процесс отверждения ЭК. Установлено, что термодинамика процесса отверждения у наполненного композита остаётся такой же, что и у индивидуальной смолы. В то же время введение НЧ Fe увеличивает скорость протекания реакции. Для полученных данных была рассчитана энергия активации процесса отверждения [1]. Было показано, что энергия активации для ненаполненного ЭК составляет 70.3 кДж/моль, а для ЭК с НЧ железа она снижается до 50.2 кДж/моль.

Список литературы:

[1] Chen Y., Xie J. Q., Zhang B., Zeng X. C. *JTAC*. **75**, 847–855 (2004).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант 20-12-00031).

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СЛОИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСОВ ПОЛИ-3,4-ЭТИЛЕНДИОКСИТИОФЕНА С ПОЛИМЕРНЫМИ СУЛЬФОКИСЛОТНЫМИ ЭЛЕКТРОЛИТАМИ

Кабанова В.А., Грибкова О.Л., Некрасов А.А.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина
Российской академии наук (ИФХЭ РАН), г. Москва, Россия
KabanovaVar@gmail.com*

Поли-3,4-этилендиокситиофен (ПЭДОТ) – один из наиболее изучаемых и перспективных электропроводящих полимеров. Это связано с такими его преимуществами, как оптическая прозрачность в проводящем состоянии, достаточно высокая проводимость, высокая стабильность и низкий окислительно-восстановительный потенциал.

Физико-химические свойства слоев ПЭДОТ зависят от условий синтеза полимера и типа используемых допантов. Водорастворимые полимерные сульфокислотные электролиты различного строения, могут выступать как объемные допирующие анионы при электросинтезе ПЭДОТ, которые входят в состав слоя ПЭДОТ и не удаляются из него при дедопировании. С другой стороны, они являются активными компонентами, влияющими на кинетику электросинтеза, а также на структуру и свойства получаемых полимерных композитов.

В данной работе выполнено комплексное исследование процесса электрополимеризации 3,4-этилендиокситиофена в присутствии сульфокислотных полиэлектролитов различного строения, а также свойств полученных комплексов ПЭДОТ. Показано, что полимерные сульфокислотные электролиты различной природы, содержащие локально-упорядоченные анионные группы, выступают в качестве темплата при электросинтезе слоев ПЭДОТ. Структура, гибкость цепи сульфокислотных полиэлектролитов, их форма (кислота или соль) и молекулярная масса оказывают определяющее влияние на характер синтеза, структуру и свойства получаемых комплексов ПЭДОТ.

Установлена связь между структурой электроосажденных комплексов ПЭДОТ с полиэлектролитами и перспективами использования их в качестве дырочно-транспортных слоев при создании органических и перовскитных солнечных элементов.

Показано, что структура, свойства и морфология слоев комплексов ПЭДОТ, полученных в присутствии полиэлектролитов различного строения и их смесей влияют на их сенсорные свойства.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект №РНФ-23-19-00884).

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОВОЛОКНА И НАНОТРУБКИ КАК НАПОЛНИТЕЛИ, СПОСОБНЫЕ ПОВЫШАТЬ ТЕРМИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ВЫСОКОТЕРМОСТОЙКИХ ПОЛИИМИДОВ

Кунцман И.В., Николаева А.Л., Гофман И.В., Ларин С.В.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург, Россия
i.v.kuntsman@gmail.com*

Выявление особенностей воздействия углеродных наночастиц на характеристики термостойких пленочных нанокompозитов на основе ароматических полиимидов представляет большой интерес для современной науки и техники. Варьируя типы вводимых наночастиц оказывается возможным влиять на широкий спектр физико-химических свойств материалов: механические и электрические [1,2], трибологические [3] и транспортные [4]. Значительно реже углеродные наночастицы используются в качестве модификаторов теплофизических свойств полимеров, особенно высокотермостойких. В работе был впервые проведен сравнительный анализ интенсивности и характера изменений различных свойств, прежде всего механических, полиимидных пленок на основе полиимидов ПМ-ДАДФЭ и Р-ДАДФЭ и нанокompозитных, содержащих различные концентрации углеродных нановолокон и функционализированных нанотрубок, в условиях изотермического воздействия кислородсодержащей среды в области температур 350-500 °С, т.е. в условиях ускоренного теплового старения. Для определения влияния наполнителя на термическую стабильность полимеров пленки до и после термообработок подвергались сравнительным механическим испытаниям в режиме одноосного растяжения, а изменения термических свойств таких пленок исследовались методами совмещенного термогравиметрического анализа. Введением углеродных наночастиц, определено, можно добиться повышения термической стабильности полиимидных пленок. Анализ динамики изменения механических характеристик выявил менее интенсивное протекание процессов термоокислительной деструкции в нанокompозитных полиимидных пленках по сравнению с ненаполненными. Было установлено, что именно введение углеродных наночастиц приводит к замедлению снижения таких параметров, как прочность и предельная деформация пленочных материалов, в условиях теплового старения. Подобные эффекты могут быть результатом наличия физико-химических взаимодействий между макроцепями полиимидной матрицы и поверхностью наночастиц, оказывающих стабилизирующее действие на нанокompозитные системы.

Список литературы:

[1] Singh, B., Singh, D., Mathur, R. et al. *Nanoscale Res Lett* **3**, 444 (2008). <https://doi.org/10.1007/s11671-008-9179-4>. [2] Hyang Hwa So, Jae Whan Cho, Nanda Gopal Sahoo. *European Polymer Journal*. **43**, 3750 (2007). [3] Ogbonna V. E., Popoola A. P. I., Popoola O. M., Adeosun S. O. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. **61**, 176 (2021). [4] Akinyi C., et al. *Minerals*, **11**, 168 (2021).

ЭЛЕКТРОХРОМНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БИОСОВМЕТИМЫХ ПОЛИМЕРОВ И MoO_x/WO_x СТРУКТУР

Евдокимова А.В., Шибаета В.Д., Сироткин Н.А., Хлюстова А.В.

*Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук,
г. Иваново
Anastasia.eudokimova@mail.ru*

Эффект электрохромизма (окрашивание под действием напряжения) может применяться в создании электрохромных устройств, дисплеев, зеркал заднего вида и умных материалов. Таким эффектом обладают оксиды переходных металлов (NiO , Nb_2O_5 , V_2O_5 , TiO_2 , WO_3 , MoO_3 , CoO_2 , IrO_2 и др.) и некоторые полимеры на основе полиимидов, полиамидов и полиинорборнена [1]. Создание композитов на основе полимеров, не обладающих электрохромными свойствами, и оксидов металлов является одним из приоритетных направлений в развитии оптических и электронных технологий. Использование биосовместимых/биоразлагаемых полимеров, таких как поливиниловый спирт, крахмал, полиакриламид упрощает и удешевляет процесс получения. В данной работе представлены результаты электрохромных измерений композитов на основе биоразлагаемых полимеров и оксидов вольфрама и молибдена, полученные впервые. Композиты получали путем смешения раствора полимера и модифицированного плазмой зольей WO_3 и MoO_3 . Плазменное модифицирование позволяет получать бинарные структуры типа MoO_x/WO_x .

Циклические вольтамперограммы композитов показывают пики процесса восстановления (окрашивание) при -1.42 В для структур MoO_3/WO_x и -1.49 В для WO_3/MoO_x структур и пик процесса окисления (обесцвечивания) при $+1.5$ В. Для всех композитов значения тока процесса восстановления выше, чем процесса обесцвечивания, что связано с диффузией интеркалированных ионов в структуре оксида молибдена [2]. Обсуждается влияние структуры полимерной матрицы и структуры бинарных оксидов на скорость диффузии интеркалированных ионов.

Список литературы:

[1] *Abidin T., Zhang Q., Wang K. L., Liaw D.J. Polymer. 55, 5293 (2014).*

[2] *Lin S.Y., Wang C.M., Kao K.S., Chen Y.C., Liu C.C. J. Sol-Gel Sci. Technol. 53, 51 (2010).*

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-23-00051).

СТРУКТУРА НАНООРГАНИЗАЦИИ ДВОЙНЫХ ФТОРСОПОЛИМЕРОВ

Хрусталева А.Н., Соколова Л.В.

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва
lywn@yandex.ru

Несмотря на широкое использование фторсополимеров в промышленности до сих пор отсутствует единое мнение об особенностях их структуры. В ряде работ показано, что во время синтеза полимеров различного химического строения и последующего хранения формируется наноорганизация, включающая упорядоченные образования разного строения и содержания, соединенные проходными цепями в единую систему. Структура наноорганизации имеет термодинамическую природу и определяется, в первую очередь, кинетической гибкостью макромолекул и их молекулярной массой [1]. В макромолекулах фторкаучуков короткие микроблоки винилиденфторидных звеньев разделены развязками – изолированными гексафторпропиленовыми звеньями в количестве ~26% (СКФ-26) и в основном изолированными трифторхлорэтиленовыми (~30%) в случае СКФ-32. В макромолекулах Элафтора 1000Р микроблоки тетрафторэтиленовых звеньев разделены развязками – изолированными перфторметилвинил эфирными звеньями (~19%). На их дифрактограммах наряду с аморфным гало проявились рефлексы разной интенсивности от упорядоченных образований размером 4, 5 и 2 нм соответственно. Наименьшие межмолекулярные расстояния в СКФ-26 (2.24 Å) свидетельствуют о более высокой степени упорядоченности его наноорганизации, чем Элафтора (2.28 Å) и СКФ-32 (2.28 Å) [2]. Достаточно широкое распределение упорядоченных образований по размерам с преобладанием содержания среди них 61 и 40 нм в случае СКФ-26, 54 и 33 нм – СКФ-32 и 29 нм – Элафтора свидетельствует о втором уровне порядка их наноорганизации согласно данным малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР) (рис. 1). В случае высокого содержания последних проявляются дополнительные рефлексы и на дифрактограммах широкоугольного рентгеновского рассеяния. Оба уровня порядка наноорганизации фторсополимеров претерпевают изменение с проявлением фазовых переходов и особенно в случае Элафтора, что нашло отражение, в частности, в наибольшем увеличении жесткости вулканизатов на его основе. При этом обнаружено и неодинаковое изменение конформации фрагментов макромолекул в этих упорядоченных образованиях с помощью ИК-спектроскопии. Основной причиной впервые установленного различия в структуре наноорганизации двойных фторсополимеров является неодинаковое химическое строение развязок и их макромолекулах.

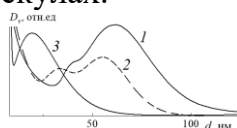


Рис. 1 - Дифрактограммы МУРР СКФ-26 (1), СКФ-32 (2) и Элафтора (3).

Список литературы: [1]. Соколова Л.В. Пластич. массы. Т. 5. С. 13. (2006). [2]. Соколова Л.В. и др. Кристаллография. Т. 67. С. 508. (2022).

СТИМУЛЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МИКРОГЕЛИ КАК МАТРИЦЫ ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ ФЕРМЕНТОВ И СОЗДАНИЯ БИОСЕНСОРНЫХ ПОКРЫТИЙ

Рудаков Н.С.^{1,2}, Пергушов Д.В.¹, Сиголаева Л.В.¹

¹*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
химический факультет, г. Москва*

²*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
факультет наук о материалах, г. Москва
n.s.rudakov@yandex.ru*

(Со)полимерные микрогели представляют собой высокочувствительные полимерные матрицы для иммобилизации биомолекул. При этом иммобилизация не приводит к потере каталитической активности и функциональности биомолекул благодаря обогащённой водой внутренней среде микрогелей, что позволяет использовать последние для конструирования различных биосенсорных систем. Особенно перспективны в этом отношении стимулчувствительные микрогели, которые способны адаптироваться к поверхностям различной природы, изменяя свой гидрофильно-гидрофобный баланс в зависимости от условий внешней среды (например, температуры, рН, состава растворителя). Влияние этих факторов на формирование и свойства микрогелевых и микрогель-ферментных покрытий было исследовано методами пьезоэлектрического микровзвешивания с мониторингом диссипации и атомно-силовой микроскопии. В качестве микрогеля, обладающего двойной стимулчувствительностью (рН- и термочувствительностью), был использован сшитый сополимер на основе *N*-изопропилакриламида и диметиламинопропилметакриламида. Обнаружено, что при рН 9,5 микрогель, находящийся в гидрофобизованном состоянии, хорошо адсорбируется и прочно удерживается на поверхности покрытого тонким слоем золота кварцевого резонатора, сохраняя при этом свои стимулчувствительные свойства. Установлено, что при рН 7 адсорбированный микрогель приобретает положительный заряд и способен связывать значительные количества глюкозооксидазы, обладающей в этих условиях суммарным отрицательным зарядом. Показано, что электростатическое взаимодействие адсорбированного микрогеля с ферментом не приводит к десорбции микрогеля или потере им стимулчувствительных свойств. Для формирования микрогель-ферментных биосенсорных покрытий на планарные графитовые электроды, которые были предварительно модифицированы пероксидчувствительным медиатором (наночастицами диоксида марганца), при рН 9,5 адсорбировали микрогель, после чего проводили связывание глюкозооксидазы при рН 7 (электростатическая иммобилизация). Методом амперометрии установлено, что полученная система демонстрирует хорошие аналитические характеристики по β -D-глюкозе. Кроме того, выявлены закономерности выделения фермента из микрогелевой пленки при варьировании концентрации хлорида натрия в окружающем водном растворе.

Благодарности

Данная работа была выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-24-00424).

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ ДЕАЦЕТИЛИРОВАНИЯ α - И β -ХИТИНА

Кусков Т.Е.^{1,2}, Подгорбунских Е.М.², Бухтояров В.А.², Бычков А.Л.²

¹Новосибирский государственный университет, факультет естественных наук,
г. Новосибирск, t.kuskov@g.nsu.ru

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск,
podgorbunskikh@solid.nsc.ru

Хитин – природный биополимер, состоящий из звеньев N-ацетилглюкозамина, соединенных с помощью β -1,4-гликозидной связи. Хитин разделяют на три полиморфные модификации: α -, β - и γ -хитин, которые отличаются друг от друга относительным расположением цепей полимера [1]. Хитозан представляет собой деацетилированную производную хитина, имеющую долю свободных аминогрупп (степень деацетилирования, *DDA*) более 50 %. В последние годы наблюдается повышенный интерес к исследованиям по получению хитозана, обусловленному уникальными свойствами (биосовместимость, биоразлагаемость, бактерицидность), что обеспечивает его широкое применение во многих отраслях промышленности [2]. Целью данной работы является исследование процесса деацетилирования α - и β -хитина. Из подмора пчел и хребтов кальмара были выделены α - и β -хитин соответственно. Рентгенофазовый анализ (РФА) проводился на дифрактометре D8 ADVANCE (Bruker, Германия). ИК-спектроскопия проводилась с помощью ИК-спектрометра Bruker Vertex 70v (Bruker, США). Потенциометрическое титрование проводилось с помощью комплекта для автоматического титрования Титрион-1 (ЭЛЕКТРОНПРИБОР, Россия). Индекс кристалличности хитина рассчитывался по данным РФА методом высот (метод Focher) [3]. Хитозан был получен в процессе деацетилирования α - и β -хитина 50 % раствором NaOH. Степень деацетилирования хитозана определялась по результатам потенциометрического титрования, РФА и ИК-спектроскопии. Индекс кристалличности полученных образцов хитозана оценивался по разработанному в ходе исследования методу, представленному в работе [4].

Проведено сравнение методов определения степени деацетилирования хитина и хитозана, также определены области их применения. На основе полученных данных *DDA* была построена кинетика реакции деацетилирования хитина и выдвинуто предположение о механизме реакции.

Список литературы:

- [1] Tsurkan M.V., Voronkina A., Khrunyk Yu., Wysokowsky M., Petrenko Ia., Ehrlich H. Carbohydrate Polymers **252**, #117204 (2021).
[2] Cheung R.C.F., Ng T.B., Wong J.H., Chan W.Y. Marine Drugs **13** (8), 5156 (2015).
[3] Focher B., Beltrame P.L., Naggi A., Torri G. Carbohydrate Polymers **12**, 405 (1990).
[4] Podgorbunskikh E., Kuskov T., Rychkov D., Lomovskii O., Bychkov A. Polymers **14** (20), #4438 (2022).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – докторов наук (проект № МД-2330.2022.1.3.).

ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТЕЙ СУБСТРАТОВ НА ЭЛЕКТРОАДГЕЗИОННЫЕ СИЛЫ

Шаров К.И., Шапагин А.В.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН
Deathknight_91@mail.ru*

При создании адгезионных систем, к которым применяются специальные требования, часто используют принципы электроадгезии. Это сложное и динамическое явление электростатического притяжения между двумя поверхностями. В общем виде электроадгезионная система представляет собой высоковольтный источник питания, электроадгезив и систему управления. Сам электроадгезив представляет собой электрод внутри полимерной матрицы. Существует достаточное количество работ о влиянии конструкции электрода на электроадгезионные усилия [1], однако исследований в области влияния фазовых состояний и энергетических характеристик поверхностей субстратов на силы электроадгезии крайне мало.

В качестве субстратов использовали отожжённые и не отожжённые плёнки полиэтилена низкой плотности, а также плёнки сополимеров этилена и винилацетата с различным содержанием звеньев винилацетата (от 7 до 40 масс%). Методом дифференциальной сканирующей калориметрии определена степень кристалличности плёнок. Методом Оунэса-Вендта исследованы их поверхностные характеристики в исходном состоянии под высоким напряжением (4000 В), а также через 5-10 секунд после снятия напряжения. Электроадгезионные усилия определены на разрывной машине Zwick/Roell Z010 (Германия) с использованием датчика силы с номинальной нагрузкой 5 Н при напряжении 8000 В, площади электрода 10 см² и расстоянии между электроадгезивом и субстратом 0,6 мм.

На основании полученных данных установлены различия в электроадгезионных силах для отожжённых и не отожжённых плёнок с различной степенью кристалличности и различным содержанием винилацетата. Выявлена корреляция между степенью кристалличности, содержанием винилацетата, поверхностной энергией плёнок и электроадгезионными силами. Показано влияние полярных групп сополимера и их ориентации на поверхность или в объёме на силы электроадгезии. Например, с ростом содержания винилацетата в сополимере у отожжённых плёнок и уменьшением степени кристалличности, увеличиваются и генерируемые электроадгезионные силы, достигая значения 0,125 Н (при 40 масс% винилацетата). В случае не отожжённых плёнок максимального электроадгезионного усилия (0,251 Н) удаётся достичь при наименьшем содержании винилацетата (7 масс%) со степенью кристалличности 31,72 %.

Список литературы:

[1] *Pandey Rajagopalan, Manikandan Muthu, Yulu Liu, Jikui Luo, Siazhi Wang, Chaoying Wan. Advanced Intelligent Systems (2022).*

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (номер проекта 122011300053-8).

КОМПЛЕКСНЫЕ МИКРОКОНТЕЙНЕРЫ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ АВТОНОМНОЙ РЕАКЦИИ КАК МАТЕРИАЛ ДЛЯ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩЕГОСЯ ЦЕМЕНТА

Стамер К.С.^{1,2}, Балтаева М.Б.¹, Орлов М.В.¹

¹ООО «Арамко Инновейшнз», г. Москва

²Московский государственный университет, физический факультет, г. Москва
katerina.stamer@aramcoinnovations.com

Вдохновлённые природой, самовосстанавливающиеся материалы активно разрабатываются и находят широкое применение в самых разных областях, в том числе в нефтегазовой отрасли. Инкапсулирование действующего вещества и последующее внедрение капсул в матрицу является одним из наиболее распространённых методов создания самовосстанавливающихся материалов [1]. Преимущественно однокомпонентные, микрокапсулы с заживляющим агентом отличаются основным недостатком – необходимостью наличия в матрице катализатора. Для решения этой проблемы была предложена многокомпонентная система комплексных микроконтейнеров (КМК), включающая активный агент и сшиватель. Эта система была разработана для придания цементу автономных свойств самовосстановления за счёт заполнения трещины полиуретановой пеной в результате реакции между инкапсулированными агентами в присутствии воды. Целью настоящего исследования являлось определение оптимальных условий образования КМК и изучение ее характеристик. Методика синтеза представленной системы основывалась на получении эмульсии с последующей межфазной полимеризацией. Для создания внутренних микрокапсул была создана эмульсия «масло-в-масле», тогда как для синтеза внешних микрокапсул использовалась эмульсия «масло-в-воде», причём в дисперсную фазу входили изоцианат и ранее полученные полимочевинные микрокапсулы. Конечным продуктом была система наполненных полиолом полимочевинных микрокапсул, загруженных внутрь заполненного изоцианатом ядра более крупных полиуретановых микрокапсул. В ходе работы были определены оптимальное содержание изоцианата и полиола в ядрах микрокапсул, скорость диспергирования и концентрация эмульгатора в обеих эмульсиях. Для визуализации морфологии, внутреннего строения системы, а также размеров микрокапсул использовалась сканирующая электронная спектроскопия. Успешное инкапсулирование изоцианата и полиола, а также формирование внешней и внутренних полимерных оболочек подтверждено посредством инфракрасной спектроскопии. Методом термогравиметрии было исследовано массовое соотношение ядро/оболочка как для полимочевинных, так и для полиуретановых микрокапсул. Изучение пенообразующих свойств при различных температурах показало, что в присутствии воды в системе происходит значительное увеличение объёма. Преимуществами описанной системы является возможность как автономной реакции без каких-либо дополнительных агентов, так и формирования полиуретановой пены в присутствии воды.

Список литературы:

[1] *Blaiszik, B.J., Kramer, S.L.B., Olugebefola, S.C., et al. Annual Review of Materials Research 40, 179–211 (2010).*

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЭЛЕКТРОПЕРЕНОСА В ПОЛИМЕРНЫХ ДИЭЛЕКТРИКАХ

Борисова М.Э.¹, Камалов А.М.^{1,2}, Павлов А.А.¹, Диденко А.Л.²,
Джайасингхе Б.М.Д.Н.С.¹

¹*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург*

²*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
vladimirl.borisov@gmail.com*

Изучались электрические и электретные свойства пленок термопластичного полиимида. Интерес к термопластичным полиимидам обусловлен необходимостью уменьшения гигроскопичности материала и снижения экономических затрат на его производство.

Систематически изучен комплекс явлений, связанных с процессами накопления и релаксации гомозаряда в пленках полиимида при их зарядке в электрическом поле и в коронном разряде. Анализ проведен на основе физико-математических моделей, учитывающих различие проводимости приповерхностных слоёв и объема полимерных пленок. Предложенная нами модель удовлетворительно описывает совокупность экспериментальных данных, связанных с накоплением и релаксацией заряда.

Использованы рациональные методы обработки абсорбционных характеристик, предложенные нами на основе полученных аналитических выражений. Применение такой модели основано на целом ряде экспериментальных данных, подтверждающих роль собственной проводимости диэлектрика. Экспериментально измерены абсорбционные токи зарядки и разрядки, при помощи которых определены эквивалентные схемы. На основе этих схем рассчитана вся совокупность абсорбционных характеристик: $U_c(t)$, $U_b(t)$, $\varepsilon'(\omega)$, $\varepsilon''(\omega)$ и коэффициенты абсорбции.

Изучена стабильность электретного состояния, которая определяется зависимостью электретной разности потенциалов и зарядом q на единицу площади образца от времени. Были использованы методы токов термостимулированной деполяризации (ТСД) и термостимулированного напряжения (ТСН). Токи ТСД измерялись в открытой и закороченной цепи. Измерения при различных типах контакта позволили выделить характеристики толщи диэлектрика и его приповерхностных слоев, имеющих повышенную проводимость. В частном случае из кривых токов ТСД можно рассчитать величины проводимости и их энергии активации. Результаты анализа спектров тока ТСД дают дополнительную информацию о релаксационных процессах в диэлектрике к данным, полученным методом диэлектрической спектроскопии.

Показано, что наиболее стабильными электретными свойствами обладает пленка аморфного полиимида Р-ОДФО. Установлено, что при воздействии постоянного электрического поля с напряженностью $E=10^7$ В/м при температуре 200°C в полиимиде Р-ОДФО накапливается как гетеро-, так и гомозаряд.

2D ГРАФЕНОВЫЕ СТРУКТУРЫ КАК ПОЛИМЕРЫ ГЕКСАГОНА АТОМОВ УГЛЕРОДА

Возняковский А.П.¹, Возняковский А.А.²

¹*Бюджетное государственное учреждение «Научно-исследовательский институт синтетического каучука», Санкт-Петербург*

²*Физико-технический институт Российской академии наук, Санкт-Петербург
voznar@mail.ru*

В настоящее время убедительно показано, что новая аллотропная форма углерода — графен может быть эффективно применен во многих областях практического материаловедения. В этой связи возникает вопрос о необходимости отнести графен к какому-то определенному классу химических соединений [1]. Для этого предварительно необходимо уточнить некоторые понятия. Так, по классификации IUPAC под графеном следует понимать слой углерода толщиной в один атом, состоящий из конденсированных шестичленных колец углерода. При этом с химической точки зрения графен рассматривают как своеобразную макромолекулу [например, [2]]. Соответственно, любые формы организации графена в некоторые упорядоченные структуры (стеки) следует относить к многослойному графену - МГ (few layered graphene). При этом число слоев в стеке, в общем случае может достигать 60. Это привело к необходимости внесения в классификацию 2D графеновых структур таких понятий как: графеновые нанолиты - ГНЛ (GNS) и графеновые нанопластины -ГНП (GNP). Однако классификация частиц МГ только по числу графеновых слоев в стеке не учитывает особенности морфометрических параметров, образующих их графенов. Так частица МГ может быть сформирована как, собственно, графеном, так и, равновероятно, оксидом графена, восстановленным оксидом графена. При этом, графены, в свою очередь могут различаться природой и концентрацией терминальных групп, дефектностью и природой дефектности (вакансионные дефекты, дефекты Стоуна-Уэлса) и/или их сочетанием. Соответственно, как и любая макромолекула, отдельно выделенный лист графена обладает уникальными параметрами. Однако каждый конечный ансамбль макромолекул, нивелируя свойства отдельной макромолекулы, имеет собственный комплекс свойств, присущих именно этому ансамблю. Соответственно, это позволяет утверждать, что конкретная область применения 2D графеновых структур будет зависеть от их предыстории. Высказанные модельные представления нашли подтверждение в ходе сопоставления малослойных графенов, полученных нами в результате карбонизации биополимеров в условиях процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза [3].

Список литературы:

- [1] Vincenzo Palermo Chem. Commun., 49. 2848 (2013).
- [2] Wen-Zhang Fang, Li Peng, Ying-Jun Liu, Fang Wang, Zhen Xu, Chao Gao Chin J. Polym Sci 39, 267 (2021).
- [3] Voznyakovskii A.P., Vozniakovskii A.A., Kidalov, S.V. Nanomaterials, 12 (4), 657. (2022).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №23-79-1025.

НОВЫЕ НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ МЕТАКРИЛОВЫХ СОПОЛИМЕРОВ С ХИНОКСАЛИНОВЫМИ ХРОМОФОРАМИ В БОКОВОЙ ЦЕПИ

Вахонина Т.А.¹, Гайсин А.И.¹, Фазлеева Г.М.¹, Калинин А.А.¹, Валиева А.А.¹,
Шмелев А.Г.^{1,2}, Исламова Л.Н.¹, Шарипова А.В.¹, Хаматгалимов А.Р.¹,
Балакина М.Ю.¹

¹Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский
научный центр РАН, г. Казань

²Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского ФИЦ Казанский
научный центр РАН, г. Казань
TanyaVakhonina@yandex.ru

Получены новые метакриловые полимеры, содержащие в боковой цепи гетероциклические дипольные хромофоры, и изучена их квадратичная нелинейно-оптическая (НЛО) активность. Для получения полимерных материалов, проявляющих НЛО отклик, были синтезированы новые Д-π-А хромофоры с винилхиноксалинилвиниловым π-электронным мостиком и трицианофурановым акцептором. Донорный фрагмент представлен N,N-дизамещенным анилином, когда один из заместителей содержит гидроксильную/метакрилоильную группу, соединенную с атомом азота через этиленовый или гексиленовый спейсер.

Хромофор-содержащие сополимеры получали двумя способами: функционализацией сополимеров метилметакрилата и метакриловой кислоты хромофорами, содержащими гидроксильную группу и радикальной сополимеризацией ММА с гетероциклическими хромофорами, содержащими метакрилоильную группу.

Структура и состав полученных полимеров подтверждена физико-химическими методами исследований. Определены молекулярные массы, температуры стеклования и термостойкость сополимеров. Методом Келена-Тюдеша впервые определены константы сополимеризации хромофор-содержащих мономеров с хиноксалиновым фрагментом в пи-электронном мостике при сополимеризации с ММА.

Для определения НЛО коэффициентов, d_{33} , методом центрифугирования были изготовлены тонкие пленки, толщина которых составляет 270-500 нм. Электретирование пленок проведено в поле коронного разряда. Методом генерации второй гармоники измерены НЛО коэффициенты. Изучено влияние режимов полинга, а также содержания хромофоров в полимере на величину НЛО коэффициента полученных материалов [1]. Синтезированные полимеры показали хорошую временную и термическую стабильность НЛО отклика.

Список литературы:

[1] Vakhonina T. A., Fazleeva G. M., Kalinin A. A., Gaysin A. I., Shmelev A. G., Islamova L. N., Fominykh O. D., Sharipova A. V., Shalin N. I., Mukhtarov A. S., Khamatgalimov A. R., Balakina M. Yu. J. Appl. Polym. Sci. e52745 (2022).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 21-13-00206.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ НАСЦЕНТНОГО ПОРОШКА ПОЛИЭФИРИМИДА Р-ОДФО ПРИ НАГРЕВАНИИ

Иванькова Е.М.¹, Касаткин И.А.², Диденко А.Л.¹, Попова Е.Н.¹, Елоховский В.Ю.¹, Юдин В.Е.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург
ivelen@mail.ru*

Термопластичные полимеры обладают высоким потенциалом применения в различных областях. Кинетика кристаллизации как в изотермическом, так и в динамическом режимах ПЭЭК, ПЭКК и других термопластичных композитных систем широко изучалась с использованием различных методов, таких как дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК), ИК-спектроскопия, оптическая микроскопия, большеугловое рассеяние рентгеновских лучей (БУР) и электронная микроскопия. ДСК-исследования показали наличие двух эндопиков термопластичных полимеров при нагревании и охлаждении. В результате были сделаны различные выводы, объясняющие появление двойных пиков плавления для разных полимеров.

В последние несколько лет частично-кристаллический полиэфиримид Р-ОДФО активно исследуется в лабораториях ИВС РАН. Однако кинетика фазовых переходов при его нагреве все еще недостаточно детально описана. В настоящей работе впервые было проведено комплексное исследование эндотермических эффектов при нагреве и охлаждении полиэфиримида Р-ОДФО, а также кристаллической структуры полимера с использованием СЭМ, ДСК и in-situ БУР измерений. Было обнаружено, что насцентные частицы синтезированного порошка полиэфиримида (ПИ) Р-ОДФО состоят из многочисленных морфологических единиц пластинчатого типа, имеющих частично-кристаллическую структуру. На термограмме ДСК порошка ПИ наблюдались два эндопика при 318°C и 340°C. Методом БУР показано отсутствие существенной разницы в профилях рентгеновских пиков при in-situ нагревании образца Р-ОДФО от комнатной температуры до 330°C (промежуток между низкотемпературными и высокотемпературными эндопиками). В процессе отжига при температуре 330°C в течение 1 часа БУР-рефлексы становились более узкими без видимой трансформации кристаллической ячейки. Выявлено, что степень кристалличности полимера падала вблизи 330°C и продолжала снижаться до полного расплавления образца. Предполагается, что низкотемпературный эндопик (318°C) связан с плавлением множества мелких кристаллитов, что приводит к резкой аморфизации образца и одновременно значительному увеличению размера кристаллитов при 330°C. Высокотемпературный эндопик можно объяснить плавлением более крупных кристаллитов, образовавшихся из расплава во время изотермической кристаллизации при 330°C. Кроме того были проведены эксперименты по изучению реологического поведения расплавов полиимида Р-ОДФО при различных температурах.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРАКТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Сычев М.М.

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет), г. Санкт-Петербург, Россия
msychov@mail.ru*

Предложен подход к исследованию взаимосвязи «состав – структура – свойства» композиционных материалов, основанный на анализе фрактальных параметров в качестве количественных характеристик структуры материалов.

Одним из достаточно подробно описанных подходов к изучению микроструктуры материалов является расчет фрактальной размерности, которую можно назвать характеристикой геометрической сложности объекта, она показывает скорость приращения новых элементов структуры с ростом масштаба. В ряде случаев более информативными оказывается лакуарность, являющаяся показателем неоднородности распределения изучаемых объектов в пространстве. С ее помощью можно количественно оценить качество распределения каких-либо элементов структуры в пространстве. Нами [1] предложен новый параметр «масштабная инвариантность», характеризующая зависимость лакуарности изучаемой структуры от масштаба рассмотрения.

Перспективность данного подхода продемонстрирована на примере анализа микроструктуры полимерных композиционных материалов, рис. 1, многофазных керамик, образцов сплавов с неметаллическими включениями, тонких функциональных пленок.

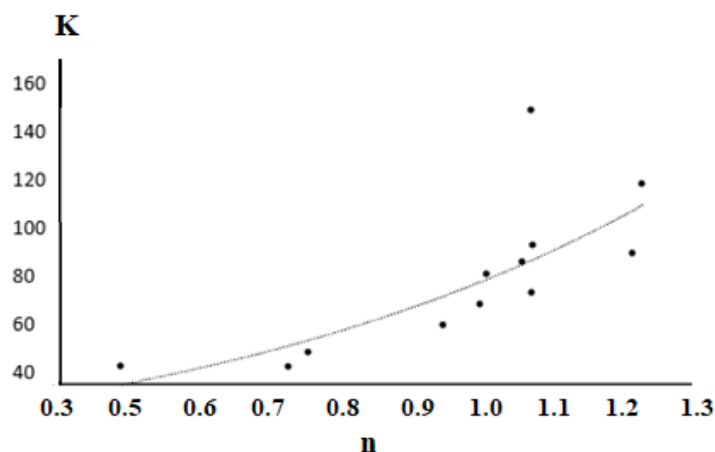


Рис. 1 – Диэлектрическая проницаемость композитов ЦЭПС-ВаTiO₃-графен в зависимости от параметра масштабной инвариантности n .

Список литературы:

[1] Chekuryaev A.G., Sychov M.M., Perevislov S.N., Ulanov V.N. *Ceramics*. **6**, 1067–1077 (2023).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 21-73-30019.

ВЛИЯНИЕ НАНОАЛМАЗОВ НА СТРУКТУРУ И ТРАНСПОРТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕМБРАН В ДИФфуЗИОННЫХ И БАРОМЕМБРАННЫХ ПРОЦЕССАХ

Пулялина А.Ю.^{1,3}, Файков И.И.¹, Тянь Н.С.¹, Полоцкая Г.А.^{1,2}

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,
г. Санкт-Петербург

²Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург

³ФГБУН Федеральный исследовательский центр “Кольский научный центр РАН”,
г. Апатиты
alexandra.pulyalina@gmail.com

Мембранные технологии обладают большими преимуществами перед традиционными методами разделения и эффективно используются для решения актуальных экологических и промышленных задач, что требует активной разработки новых функциональных мембранных материалов. Наноалмазы (НА) детонационного синтеза относятся к углеродным наночастицам (диаметр ~5 нм) и обладают уникальными физико-химическими свойствами, большой и доступной поверхностью, содержащей функциональные группы, такие как –COOH, –OH, =C=O. Благодаря высокой поверхностной активности и способности образовывать ковалентные связи с полимерами, наноалмазы являются перспективными модификаторами для полимерных мембранных материалов.

Данная работа направлена на оценку влияния наноалмазов, полученных детонационным синтезом, на структуру, физико-химические свойства и разделительные параметры мембран на основе полимерных композитов. В качестве полимерной матрицы для композитов был использован коммерчески доступный сополиимид P84 (“HP Polymer GmbH”, Австрия), обладающий высокими термо-механическими свойствами и уже зарекомендовавший себя как мембранный материал. Оценка влияния наноалмазов на транспортные свойства мембран на основе сополиимида была проведена в процессах первапорации, газоразделения и ультрафильтрации. Внедрение наноалмазов в матрицу P84 при создании непористых диффузионных мембран привело к повышению селективности извлечения водорода из газовых сред в процессах газоразделения, а также возрастанию производительности и фактора разделения при первапорационной очистке кислорода из азеотропной смеси этил-трет-бутиловый эфир/этанол. Повышение содержания наноалмазов в ультрафильтрационных мембранах способствовало значительному увеличению гидравлической производительности. Для улучшения транспортных свойств ультрафильтрационных мембран была оптимизирована структура полимерных композитов путем применения ионной жидкости как соразтворителя, что привело к дальнейшему повышению производительности мембран.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Российского Научного Фонда (№ 18-79-10116 и 16-13-10164).

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В СМЕСЯХ ПОЛИАМИДА-12 С БЕНЗИЛОВЫМ СПИРТОМ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПОЛУЧЕНИЮ ПОРОШКОВ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

Баско А.В.¹, Почивалов К.В.^{1,2}, Лебедева Т.Н.¹, Ильясова А.Н.¹, Юров М.Ю.¹

¹*Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук,
г. Иваново*

²*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук
avb@isc-ras.ru*

Один из наиболее распространенных в настоящее время методов 3D-печати – метод селективного лазерного спекания (СЛС) предполагает послойное спекание лазером высокой мощности частиц полимерного порошка. Среди широко используемых в аддитивных технологиях полимеров наибольшее внимание уделяется полиамиду-12 (ПА-12). В настоящее время полимерные порошки для 3D-печати обычно получают растворными способами. Несмотря на это, в литературе опубликовано сравнительно небольшое количество работ, посвященных описанию его технологических особенностей. В частности, в патентах описан способ, основанный на термически индуцированном фазовом распаде (ТИФР) гомогенного раствора ПА-12 в этаноле, приготовленного при повышенном давлении (~10 атм) и температуре (~150°C). Однако, из анализа литературы, посвященной получению полиамидных порошков, следует, что опубликованные работы носят преимущественно прикладной характер и в них отсутствуют сведения о термическом поведении и структуре смесей ПА-12 с используемыми растворителями. Таким образом, цель настоящей работы заключалась в том, чтобы на примере изучения термического поведения и структуры смесей ПА-12 с бензиловым спиртом (БС) разработать физико-химические основы процесса получения полиамидных порошков; наработать при различных технологических параметрах опытные образцы порошков и исследовать их свойства. В работе впервые получена квазиравновесная диаграмма состояния смеси ПА-12 с БС, которая содержит пограничную линию, отражающую температурную зависимость степени набухания полимера в жидкости. С учетом этой линии дана новая термодинамическая трактовка состояния смесей во всех областях на диаграмме состояния. Сформулированы и экспериментально подтверждены представления о структурообразовании в смесях ПА-12 с БС любого состава при их ТИФР. На основании этих представлений предложено рецептурное и технологическое решение проблемы приготовления полиамидных порошков для 3D-печати. Впервые показано, что получаемые методом ТИФР порошки всегда являются пористыми. Они состоят как из одиночных сферолитов, так и из их агломератов, которые могут быть легко разрушены путем диспергирования в инертной жидкости. Установлено, что увеличение количества полимера в смеси практически не влияет на дисперсионный состав получаемого порошка, тогда как уменьшение скорости охлаждения смеси от гомогенного состояния приводит к существенному увеличению размера частиц порошка.

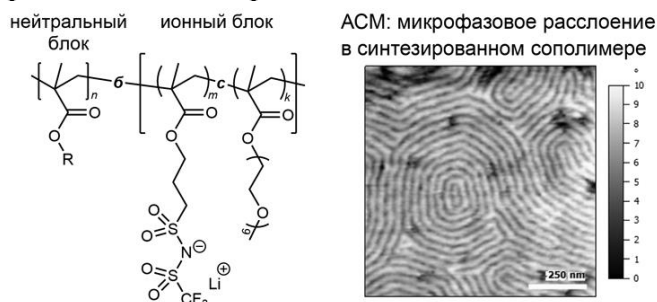
ИОНПРОВОДЯЩИЕ БЛОК-СОПОЛИМЕРЫ КАК ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ ДЛЯ ЛИТНИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Понкратов Д.О.¹, Малышкина И.А.², Лазутин А.А.¹, Лозинская Е.И.¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук (ИНЭОС РАН), г. Москва

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Физический факультет, г. Москва
Mattur@mail.ru

В качестве электролитов в литиевых аккумуляторах обычно используются жидкие или загущенные полимером растворы литиевых солей в органических растворителях. Их замена на полимерные электролиты с одним типом подвижных зарядов, в которых проводимость осуществляется только за счёт противоионов Li^+ , потенциально улучшит безопасность, удельную ёмкость и стабильность электрохимического устройства [1]. В вязкотекучем состоянии полимера достигается наибольшая ионная проводимость, однако жидкий полимер менее технологичен, чем прочные плёнки и через него возможно прорастание дендримеров лития. В блок-сополимерах, содержащих несовместимые ионный и неионный блоки, при определенном их массовом соотношении происходит микрофазовое расслоение, и образуются наноразмерные каналы ионпроводящего полимера в вязкотекучем состоянии [2]. При этом удаётся сочетать относительно высокую ионную проводимость с приемлемыми механическими свойствами.



Последовательной ОПЦ-сополимеризацией (RAFT) синтезированы метакрилатные блок-сополимеры ионного мономера 1-[3-(метакрилоилокси)-пропилсульфонил]-1-(трифторметан-сульфонил)имида лития и полиэтиленгликольметакрилата с различными неионными сомономерами. Изучена взаимосвязь морфологии блок-сополимеров и их свойств, в том числе, ионной проводимости. Проведено компьютерное моделирование методом диссипативной динамики частиц, выделены области стабильности различных морфологических состояний в зависимости от строения неионного блока, его относительного содержания, полной длины цепи.

Список литературы:

- [1] Gao J., Wang C., Han D.-W., Shin D.-M. Chem. Sci., **12**, 13248 (2021).
[2] Bates C.M., Bates F.S. Macromolecules, **50**, 3 (2017).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 21-13-00173).

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ И ИХ СОЛЕЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ СОРБЕНТОВ

Мухамедиев М.Г., Бекчанов Д.Ж., Эштурсунов Д., Инханова А.

*Национальный университет Узбекистана, г. Ташкент
mukhamediev@mail.ru*

Одним из приоритетных направлений современной химии высокомолекулярных соединений является разработка и использование технологий на основе наноразмерных частиц нанесённых на поверхности полимерных материалов, которые находят широкое применение в химической промышленности, металлургии, авиастроении, аэрокосмических технологиях, медицине. Это обусловлено, прежде всего, специфическими свойствами как самих наночастиц, так и модифицированных ими материалов. Наноразмерные частицы в виде металлов и их солей занимают особое место среди наночастиц нанесённых на полимерную поверхность. В частности, следует отметить наночастицы на основе солей и свободных переходных металлов, а именно кобальта, никеля, меди и железа которые обладают каталитическими, магнитными, механическими, оптическими, электрическими и биологическими свойствами и представляют большой интерес в связи с их относительно высокой активностью по сравнению с исходными веществами обычных размеров.

В работе изучена кинетика и термодинамика процесса сорбции ионов переходных металлов и показано, что несмотря на анионообменный характер сорбента на основе поливинилхлорида [1,2,3], он способен сорбировать катионы переходных металлов и их соли за счёт донорно-акцепторных взаимодействий между неподдельной парой электронов аминогруппы полимера и свободными d орбиталями ионов металлов. Строение полученных полимерных металлокомплексов анионита на основе поливинилхлорида и ионами переходных металлов доказано различными физико-химическими методами. Термической обработкой полимер - металлокомплексов получены микрочастицы металлов и их солей на поверхности карбонизированных полимерных материалов. Методами сканирующей электронной и атомно – силовой микроскопии оценена размерность образовавшихся на поверхности полимерных материалов микрочастиц металлов и их солей. Показано, что полученные на поверхности полимерных материалов наночастицы металлов, обладают высокоэффективной каталитической способностью по отношению к различным органическим реакциям.

Список литературы:

- [1] *Bekchanov D, Kawakita H, Mukhamediev M, Khushvaktov S, Juraev M. Polym Adv. Technol. V. 32, P. 2700–2709 (2021). <https://doi.org/10.1002/pat.5209>*
- [2] *Lieberzeit P., Bekchanov D., Mukhamediev M. Polym. Adv. Technol. 1-18 (2022). <https://doi.org/10.1002/pat.5656>.*
- [3] *Mukhamediev M.G., Bekchanov D.Zh. Russ. J. Appl. Chem. V. 92. №11. P. 1499–1505 (2019). <https://doi.org/10.1134/S1070427219110053>*

Благодарности

Работа выполнена в рамках научного проекта AL-552101242, финансируемого Министерством образования науки и инновации Республики Узбекистан.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИВИНИЛТРИМЕТИЛСИЛАНА В РАЗРЯДАХ ПЕРЕМЕННОГО И ПОСТОЯННОГО ТОКА

Зиновьев А.В.¹, Пискарев М.С.¹, Гильман А.Б.¹, Кузнецов А.А.¹, Скрылева Е.А.²,
Сенатулин Б.Р.², Гатин А.К.³, Сырцова Д.А.⁴, Тепляков В.В.⁴

¹*Институт синтетических полимерных материалов им.Н.С. Ениколопова
Российской академии наук, г. Москва*

²*Национальный исследовательский технологический университет МИСиС,
г. Москва*

³*Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова
Российской академии наук, г. Москва*

⁴*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева
Российской академии наук, г. Москва
zinovyev@ispm.ru*

В более ранних работах было показано, что при воздействии на плёнку поливинилтриметилсилана (ПВТМС) плазмы, генерируемой постоянным током, при пониженном давлении в атмосфере фильтрованного воздуха наблюдается существенное увеличение идеального коэффициента газоразделения по паре O_2/N_2 от $\alpha=3.8$ до $\alpha=10.0$ [1]. Однако в промышленных установках установки постоянного тока не используются, поэтому как продолжение работы была поставлена задача исследовать влияние одного из самых распространённых разрядов переменного тока, а именно – 40 кГц, на поверхностные и газоразделительные свойства исследуемых плёнок. Было обнаружено, что в выбранных режимах (давление 80 и 110 Па, мощности 130 Вт и времени обработки 15-60 сек.) воздействие на химическую структуру поверхности по тенденции совпадает с результатами, полученными при обработке в разряде постоянного тока, но происходит более медленно, как показано на соответствующих спектрах РФЭС. Исследования морфологии методом АСМ показали, что шероховатость поверхности относительно разряда постоянного тока возрастает в десятки раз больше. Что касается газоразделительных свойств, то по паре кислород/азот коэффициент идеальной селективности составил 5,2, что по большому счёту не выходит за значения от 4 до 6, которые получаются в работах по методу плазменного осаждения кремнийорганического мономера из газовой фазы на какую-либо подложку и прочих полимерных мембран.

Список литературы:

[1] Syrtsova D., Piskarev M., Zinoviev A., Kuznetsov A., Skryleva E., Gilman A., Teplyakov V. Journal of Applied Polymer Science. **139**, e52821 (2022).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования РФ номер темы FFSM-2021-0006 (модифицирование в плазме) и гранта. РФФИ (№20-08-00655).

ДЕГРАДАЦИЯ И СТЕПЕНЬ НАБУХАНИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ ИЗ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ КРАХМАЛОВ И КРАХМАЛОВ С ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЕМ, СШИТЫХ СУЛЬФАТОМ КАЛЬЦИЯ

Дабига О.Н.^{1,2}, Шилова О.А.²

¹Забайкальский государственный университет, г. Чита

²Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН, г. Санкт-Петербург
dabiga75@mail.ru

Механическая активация крахмала в планетарной шаровой мельнице изменяет степень кристалличности [1], размеры крахмальных гранул и представляет собой перспективный метод модификации крахмалов. Механическую активацию воздушно-сухих кукурузного (А; ГОСТ 32159-2013), картофельного крахмала (В; ГОСТ Р 53876-2010), а также смесей крахмал – полиэтиленгликоль (ПЭГ-4000, ТУ 2483-008-71150986-2006) с массовым соотношением компонентов 9 : 1 проводили с помощью виброистирателя ИВС-4 в течение 3 и 5 мин. Гидрогели 20 мас. % крахмалов получали при температуре 65 °С при термостатировании в течение 20 мин. Гидрогели 20 мас. % крахмал – полиэтиленгликоль готовили после выдерживания в течение 20 мин. при 65 °С, добавления сухого кальция сернокислого 2-водного (соотношение полимерный композит : CaSO₄ составляло 5 : 1) и выдерживания при 85 °С в течение 25 мин. Гидрогели помещали в формы и оставляли на 24 часа при 30 °С в воздушной атмосфере. Дегградацию гидрогелей – потерю массы на воздухе (Q, %) и степень их набухания в дистиллированной воде и физиологическом растворе (α, %) за 48 часов определяли методом чайного пакетика по формулам:

$$Q = \frac{m_1}{m_0} \cdot 100\% ; \quad \alpha = \frac{m_2 - m_0}{m_0} \cdot 100\% .$$

где m₀, m₁ и m₂ – массы гидрогелей исходная, на воздухе после 48 часов, после нахождения в воде или физиологическом растворе, соответственно. Средние значения Q и α по двум повторностям опыта приведены в таблице.

Таблица. Дегградация и набухание крахмальных гидрогелей

Образцы	Q, %		α, %		Образцы	Q, %		α, %	
	Воздух	Вода	Вода	Физ. р-р		Воздух	Вода	Вода	Физ. р-р
А-3	44,3	26,3	26,3	26,5	А-5	44,1	-25,1	-25,1	-13,1
А*-3	45,7	26,2	26,2	25,0	А*-5	48,0	31,1	31,1	24,9
В-3	44,3	21,6	21,6	13,1	В-5	49,6	29,6	29,6	25,1
В*-3	51,0	25,1	25,1	25,4	В*-5	50,4	25,7	25,7	22,6

Примечание. * - механоактивированные композиты крахмал-полиэтиленгликоль. Выявлено влияние природы крахмала (кукурузный и картофельный – структурные типы А и В, соответственно) и времени механической активации (3 и 5 мин.) на дегградацию и степень набухания механоактивированных крахмалов и сшитых сульфатом кальция композиций крахмал - полиэтиленгликоль.

Список литературы:

[1] Dome K., Podgorbunskikh E., Bychkov A., Lomovsky O. *Polymers* **12**, 641 (2020).

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ НА СВОЙСТВА УГЛЕПЛАСТИКОВ ИЗ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ЧАСТИЧНО- КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПОЛИИМИДА

Ваганов Г.В., Диденко А.Л., Попова Е.Н., Иванькова Е.М., Юдин В.Е.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
glebvaganov@mail.ru*

Приоритетным направлением современного материаловедения является разработка новых полимерных композитов и улучшение характеристик существующих. Особую привлекательность представляют композиты на основе термопластичных термостойких матриц и армирующих углеродных волокнах. При разработке термостойких углепластиков для решения многих задач необходимы материалы способны противостоять знакопеременным циклическим и ударным нагрузкам, которая определяется их межслоевой вязкостью разрушения (трещиностойкостью). Одним из перспективных вариантов достижения в одном материале высокой термостойкости и трещиностойкости является создание углепластиков комбинированного наполнения, в которых непрерывное углеродное волокно сочетается с частично-кристаллическим полиимидным связующим, в объеме которого равномерно распределены углеродные наноразмерные частицы.

В представленной работе в качестве полимерной матрицы для получения углепластика использовали термопластичный частично-кристаллический полиимид (Р-ОДФО)ФТ (поли- {[4,4'-бис(4''-N-феноксидифенил)имид 1,3-бис(3',4'-дикарбоксифеноксид)бензол})). Для улучшения свойств углепластиков в полиимидную матрицу вводили одностенные углеродные нанотрубки (ОСУНТ) фирмы OCSIAL (Россия) в количестве до 0.2 мас%. Углепластики были получены методом электростатического напыления порошка полиимид с частицами ОСУНТ на однонаправленную углеродную ткань Элур П 0,08 (Россия) с последующим каландрированием и прессованием при температуре 360°C.

Исследовали структуру, термические и механические свойства полиимидных углепластиков в зависимости от введения частиц ОСУНТ.

Установлено, что введение частиц ОСУНТ в полиимидную матрицу (Р-ОДФО)ФТ приводит к повышению трещиностойкости углепластиков. Кроме того, наибольшими механическими свойствами (межслоевая вязкость разрушения и прочность при изгибе) при повышенных температурах испытания обладают образцы углепластика с введенными частицами углеродных нанотрубок.

Благодарности

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 22-23-20117, <https://rscf.ru/project/22-23-20117/> и гранта Санкт-Петербургского научного фонда в соответствии с соглашением от 13.04.2022 г. № 9/2022.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПАСТ ДЛЯ СТЕРЕОЛИТОГРАФИЧЕСКОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Новиков М.М.¹, Ангелуц А.А.², Шкуринов А.П.^{1,2}, Черобыло С.А.¹

¹*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск,
Россия*

²*Физический факультет Московского государственного университета имени
М. В. Ломоносова, Москва, Россия
novikov@rambler.ru*

В настоящее время только с помощью аддитивных технологий можно получить керамические изделия сложной формы и точно контролируемой внутренней архитектурой, поскольку стандартными методами переработки керамики значительно сложнее добиться формирования сложных геометрических форм. Высокие температуры плавления многих керамических материалов затрудняют их прямое использование в аддитивном производстве. Стереолитография – эффективный метод изготовления керамических деталей сложной формы с высокой точностью размеров [1]. Одним из наиболее ключевых этапов в осуществлении стереолитографии является подготовка фотоотверждаемой суспензии (композиции) со свойствами, которые соответствуют конкретным требованиям выбранного метода и конкретного устройства 3D печати. В качестве таких суспензий известно применение составов с различными акрилатными мономерами (олигомерами) и керамическими порошками-наполнителями. Одной из задач этого исследования является разработка светочувствительной керамической суспензии с высокой плотностью и низкой вязкостью. Основными требованиями, предъявляемыми к таким композициям, являются высокая наполняемость керамическими частицами и вязкость, приемлемая для осуществления процесса стереолитографии. В этой работе были изучены свойства суспензии оксида алюминия в фотоотверждаемом полимере. Результаты показали, что фотополимер ИПЛИТ4 [2] был оптимален для приготовления подходящих композиций при изготовлении керамических деталей методом стереолитографии. Также продемонстрированы возможности террагерцовой диагностики на разных этапах изготовления керамических изделий.

Список литературы:

[1] *M. Schwentenwein et al.*, Lithography-based ceramic manufacturing: a novel technique for additive manufacturing of high-performance ceramics, *Advances in Science and Technology*, Vol. 88, pp. 60-64, 2014

[2] патент на изобретение RU 2685211 Жидкая фотополимеризующаяся композиция для лазерной стереолитографии.

Благодарности

Данная работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Программы развития Томского государственного университета (Приоритет – 2030).

ОТ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АНТРАЗОЛИНОВЫХ МОНОМЕРОВ К ПОЛИМЕРНОЙ ЦЕПИ: ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ

Смыслов Р.Ю.¹, Щугорева И.А.², Валиева И.А.¹, Гойхман М.Я.¹, Томилини Ф.Н.³,
Аврамов П.А.⁴, Якиманский А.В.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Красноярск*

³*Институт физики им. Киренского, Красноярский научный центр, Российская академия наук, Сибирское отделение, г. Красноярск*

⁴*Department of Chemistry and Green-Nano Materials, Research Center, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea
urs@macro.ru*

Исследованы спектры люминесценции и поглощения полиамидов, содержащих в макромолекулярном «хребте» 1,9-антразолин с фрагментами *para*- или *meta*-[(карбонил)амино]фенил-1-ена, как продолжение работ [1, 2]. Предложены квантово-химические модели антразолинсодержащих бифункциональных структурных единиц и с помощью теории функционала плотности с временной зависимостью исследованы оптические свойства низкомолекулярных моделей. Проведено сравнение теоретических спектров поглощения и люминесценции десяти атомистических моделей с соответствующими экспериментальными данными и предсказаны оптические свойства двух новых люминесцирующих молекул с бром-ауксохромом. Анализ оптических свойств показал идентичное влияние типа и положения заместителя на спектры макромолекул, содержащих *para*- или *meta*-[(карбонил)амино]фенил-1-еновых 1,9-антразолинов. Установлено, что спектры поглощения и люминесценции теоретических моделей *para*-конфигурации сдвинуты в более длинноволновую область и имеют более высокие интенсивности, чем у соответствующих моделей *meta*-конфигурации. Аналогичное явление наблюдалось и в эксперименте с низкомолекулярными соединениями и соответствующими полимерами в растворах и в массе. Полученные результаты позволяют разработать теоретический подход к конструированию макромолекул с желаемыми оптическими и электронными характеристиками.

Список литературы:

[1] *Goikhman, M.Y.; Valieva, I.A.; Podeshvo, I.V.; Gofman, I.V.; Smyslov, R.Y.; Litvinova, L.S.; Yakimansky, A.V. Luminescence* **33**, 559 (2018).

[2] *Goikhman, M.Y., Valieva, I.A., Loretsyan, N.L., Podeshvo, I.V., Gofman, I.V., Smyslov, R.Y., Litvinova, L.S., Tsvigun, N.V., Yakimansky, A.V. Luminescence.* **36**, 1961 (2021).

Благодарности

Авторы благодарят Объединенный суперкомпьютерный центр Российской академии наук за предоставленное компьютерное моделирование.

ГИБРИДНЫЕ МИЦЕЛЛЫ ОЛЕАТА КАЛИЯ, АРМИРОВАННЫЕ ПОЛИ(4-ВИНИЛПИРИДИНОМ). СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ

Квятковский А.Л.¹, Молчанов В.С.¹, Куклин А.И.², Филиппова О.Е.¹

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

²Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна

kvyatkovskij@physics.msu.ru

В результате самоорганизации амфифильных молекул ионогенных поверхностно-активных веществ (ПАВ) в водных солевых растворах образуются червеобразные мицеллы. Их образование вызвано балансом гидрофобного притяжения неполярных (гидрофобных) «хвостов» и электростатическим отталкиванием полярных «головок» молекул ПАВ. Червеобразные мицеллы, подобно макромолекулам полимеров, способны переплетаться с образованием физической сетки зацеплений. Полуразбавленные растворы ПАВ, также, как и растворы полимеров, используют в добыче и транспорте нефти.

В нефтедобыче они применяются в качестве загустителей в жидкости для гидроразрыва нефтеносного пласта (ГРП) с целью удержания пропанта. Мицеллы ПАВ разрушаются при взаимодействии с углеводородом, что вызывает самопроизвольное падение вязкости жидкости для ГРП до вязкости воды и позволяет нефти из трещин в пласте свободно поступать к скважине. В случае ГРП-жидкостей на основе полимеров (например, гуара и полиакриламида) в скважину закачиваются специальные вещества- деструкторы, которые разрушают ковалентные связи в макромолекулах.

Для снижения энергозатрат при транспорте нефти по трубам используют материалы, сглаживающие пульсации давления, вызывающие турбулентность-противотурбулентные присадки. В этом случае применение присадок на основе чувствительных к углеводородам червеобразных мицелл ПАВ, напротив, является малоэффективным, в отличие от цепей полимера.

Поэтому необходимы новые наноматериалы для одновременного использования в процессе ГРП, в отсутствие деструктора, и при транспорте нефти по трубопроводу, в качестве противотурбулентной присадки. Такими материалами могут стать недавно полученные гибридные мицеллы ПАВ олеата калия, армированные макромолекулами полимера поли(4-винилпиридина). Данная работа посвящена изучению внутренней структуры и свойств таких гибридных мицелл несколькими комплементарными методами.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 21-73-10197).

АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА САМООЧИЩАЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОПОЛИМЕРОВ, СОДЕРЖАЩИХ ПОЛИТИТАНОКСИД

Саломатина Е.В.¹, Кряжев Д.В.², Смирнова О.Н.¹, Смирнова Л.А.¹

¹Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород

²ФБУН ННИИЭМ им. академика И.Н. Блохиной Роспотребнадзора,
г. Нижний Новгород
salomatina_ev@mail.ru

В связи с ускорением процесса урбанизации и развитием промышленности во всем мире проводятся масштабные исследования, связанные со снижением экологической нагрузки на окружающую среду. Одной из актуальных задач в этом направлении является разработка самоочищающихся полимерных покрытий, способных преобразовывать вредные вещества в безопасные и уничтожать болезнетворные бактерии. Такие материалы могут быть созданы на основе фотоактивного диоксида титана анатазной полиморфной модификации.

В работе исследованы способность к самоочищению и антибактериальные свойства материалов на основе наноструктурированного полититаноксида (ПТО) в органических оптически прозрачных полимерных матрицах различной природы. Установлено, что под действием УФ-света в ПТО происходит одноэлектронный переход $Ti^{4+} + e^- \rightarrow Ti^{3+}$ с обратимым разрывом связи Ti–O и вследствие этого генерированием на поверхности материалов супероксидных и гидроксильных радикалов. Это приводит к проявлению их супергидрофильных свойств; угол смачивания обратимо изменяется в пределах $92^\circ \leftrightarrow 7^\circ$. Это определяет высокий потенциал использования композитов в качестве «умных» самоочищающихся покрытий в условиях окружающей среды. На примере стеариновой кислоты доказана способность материалов к разложению органических загрязнителей поверхности при световом воздействии. Генерирование активных форм кислорода и радикалов обуславливает не только фотокаталитическую активность материалов и их самоочистку, но и предполагает их антибактериальные свойства. Доказано, что на поверхности образцов происходит разложение патогенных бактерий – *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*. Исследования были проведены для материалов, предварительно облученных УФ-светом в течение 1 часа. На их поверхности были нанесены колонии бактерий и через 10-15 минут произведены смывы с них. В результате наблюдалось уничтожение 80% *Escherichia coli* и 100% *Staphylococcus aureus*.

Доказана стабильность комплекса свойств покрытий на основе разработанных композитов – адгезионных, физико-механических, теплофизических, оптических, способности к обратимой гидрофилизации, фотокаталитической и антибактериальной активности – при моделировании их пролонгированной эксплуатации в естественных условиях, соответствующих европейской части России.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 23-74-10069).

ВЛИЯНИЕ ГРАФЕНОПОДОБНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЕНОК НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ АРОМАТИЧЕСКОГО ПОЛИИМИДА

Быкова Е.Н.¹, Кунцман И.В.¹, Гофман И.В.¹, Возняковский А.П.²

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Научно-исследовательский институт синтетического каучука,
г. Санкт-Петербург
bykova.elena.n@gmail.com*

Проведено сравнение возможностей модификации механических, термических и электрических характеристик пленок поли-4,4'-оксидифениленпиромеллитимида (ПМ) путем введения в них графеноподобных углеродных наночастиц (ГНЧ), полученных из различного растительного сырья методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), и контрольного нанонаполнителя – коммерчески доступного графена (Sigma-Aldrich).

Показано, что введение в матрицу ПМ синтезированных ГНЧ (2 об.%) позволяет в различной степени (в зависимости от типа сырья, из которого изготовлены ГНЧ) повысить механическую жесткость полученного пленочного материала. Самый высокий модуль – у нанокompозита, наполненного ГНЧ, полученными из лигнина. Но при использовании всех ГНЧ жесткость композита ниже, чем для ПМ, наполненного контрольным графеном.

Также нельзя не отметить, что введение ГНЧ в матрицу ПМ в большинстве случаев приводило к определенному снижению показателей термостойкости полученного пленочного материала. Лучшие показатели термостойкости, наиболее близкие к таковым для матричного полимера – у нанокompозита, наполненного ГНЧ, полученных из целлюлозы.

При этом введение синтезированных ГНЧ в пленки ПМ, в отличие от композитов с контрольным графеном, не приводит к заметному снижению удельных объемного и поверхностного сопротивлений.

Таким образом, анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что указанные характеристики нанокompозитных пленок изменяются в большей или меньшей степени в зависимости от следующих факторов: типа растительного сырья, из которого методом СВС был получен нанонаполнитель; морфологии наночастиц приготовленного наноразмерного материала, величины осевого отношения наночастиц, концентрации нанонаполнителя и качества распределения наночастиц в объеме полимерной матрицы.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛАСТОМЕРНЫХ ОГНЕТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ МИКРОДИСПЕРСНЫЕ КОМПОНЕНТЫ, ОБРАБОТАННЫЕ ПЛАЗМОЙ

Кочетков В.Г., Каблов В.Ф., Кейбал Н.А., Новопольцева О.М.,
Крюкова Д.А., Уржумов Д.А., Казарян К.С., Токарь В.А.

Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград
vg.kochetkov@mail.com

Защиту конструкций специального назначения, работающих в условиях высокотемпературного воздействия, осуществляют с помощью огнетеплозащитных эластомерных покрытий (ОТЗМ). Известно [1], что использование полых алюмосиликатных микросфер в составе ОТЗМ позволяет повысить эффективность этих композиций за счет снижения теплопроводности и плотности изделия при сохранении оптимального уровня физико-механических свойств. Однако введение микросфер сопряжено с рядом технологических сложностей.

Одним из наиболее перспективных и современных методов модификации поверхности полимеров и микродисперсных веществ является воздействие низкотемпературной плазмы, которое позволяет изменить свойства поверхностей этих материалов в широких пределах и значительно расширить области их использования [2].

Целью работы являлось исследование влияния модификации поверхности алюмосиликатных микросфер (МСФ) низкотемпературной плазмой на комплекс вулканизационных, физико-механических, теплофизических и огнетеплозащитных свойств резин на основе этиленпропилендиенового каучука, содержащих 30 масс. ч. наполнителя (БС-120) и серную вулканизирующую группу. Фракционный состав МСФ 20-100 мкм и толщина стенки 5-10 % от диаметра. Обработка поверхности микросфер позволит повысить сродство микросфер к эластомерной матрице, что в свою очередь положительно повлияет на физико-механические характеристики композиции.

Таким образом, проводимая модификация микросфер низкотемпературной плазмой позволяет повысить эффективность работы ОТЗМ: условная прочность при растяжении увеличивается на 10-25 % по сравнению с контрольным образцом, не содержащим МСФ и на 15-20 % по сравнению с образцами, содержащими немодифицированные МСФ. При этом время прогрева необогреваемой поверхности образца до 100 °С увеличивается на 30-35 % и 25-35 % соответственно.

Работа выполнена при финансировании Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (шифр проекта FZUS-2021-0013) и стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам (СП-1507.2022.1)

Список литературы:

[1] *Kablov V.F., Kochetkov V.G. et al. Molecules. 28 (13), 5267 (2023).*

[2] *Gilman A.B., Kuznetsov A.A., Ozerin A.N. Russian Chemical Bulletin. 4 (66), 577-586 (2017).*

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ИНТЕРПОЛИМЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИСАХАРИДА НАТРИЙКАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ И КАРБОПОЛА

Инагамов С.Я., Эшматов А., Мухамедов Г.И.

*Ташкентский фармацевтический институт, Ташкент, Узбекистан,
sabitjan1957@mail.ru*

Интерполимерные комплексы (ИПК) представляют собой продукты взаимодействия химически комплементарных макромолекул – полианионов и поликатионов или доноров и акцепторов протонов. В отличие от обычных химических реакций между низкомолекулярными веществами взаимодействие между макромолекулами имеет кооперативную природу. ИПК по своему строению разделяются на две группы: стехиометричные ИПК (СИПК) – это взаимодействующие компоненты включены в эквимольном составе. А нестехиометричные ИПК (НИПК) – это продукты, образованные с избытком одного либо другого компонента. Вышеприведенные особенности ИПК открывают широкие возможности их использования в фармацевтической технологии как носителей лекарственных частиц при получении лекарственных препаратов различной формы. В связи с вышеизложенными данная работа посвящена исследованию структуры и свойств ИПК полученных на основе натрийкарбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) и карбопола. В качестве основного объекта исследования использовали очищенную Na-КМЦ, продукт Наманганского химического завода со степенью замещения 70 и степенью полимеризации 450. ГОСТ 5.588–79 и ОСТ 6-05-386–80. Второй компонент ИПК это карбопол – белый, порошкообразный полимер, полученный при полимеризации акриловой кислоты. ИПК, полученные на основе Na-КМЦ и карбопола изучены методами потенциометрического титрования, ИК-спектроскопии, вискозиметрии и рентгеноструктурного анализа. При смешивании водных растворов Na-КМЦ и карбопола в нейтральных и слабокислых средах образуются водорастворимые ИПК, стабилизированные водородными связями. Для изучения равновесия реакции Na-КМЦ - карбопол использован метод потенциометрического титрования, широко применяемый для изучения реакций образования ИПК. Результаты свидетельствуют об образовании ИПК в нейтральных и слабокислых средах. Смешение растворов Na-КМЦ и карбопол сопровождается повышением рН, что характерно для реакций между полиэлектролитами. Максимальный выход ИПК соответствует эквимольному соотношению взаимодействующих компонентов. Для подтверждения вышеизложенных данных изучена структура полученного ИПК методами ИК-спектроскопии, рентгеноструктурного анализа и вискозиметрии. Таким образом, вышеизложенные данные о строении ИПК полученные на основе Na-КМЦ и карбопола, свидетельствуют об интенсификации проводимых исследований по разработке новых полимер-полимерных комплексов, что позволяет значительно расширить ассортимент полимерных носителей, отличающихся по физико-химическим, физико-механическим, эксплуатационным и структурным особенностям по сравнению с применяемыми в фармацевтической технологии.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ ПРИ ИХ ПЕРЕРАБОТКЕ В СОСТОЯНИИ РАСПЛАВА

Непомнящих В.В., Лебедев О.В., Голубев Е.К., Озерин А.Н.

*Института синтетических полимерных материалов имени Н.С. Ениколопова
РАН, г. Москва
v.nepomnyashchikh@ispm.ru*

При переработке многофазных полимерных систем в состоянии расплава, подобное состояние может являться неравновесным. Установление фазового равновесия для полимерных композитов, модифицированных функциональным наноразмерным наполнителем, может сопровождаться изменением функциональных характеристик композитного материала и требует некоторого времени. При различном времени выдержки системы полимер-наполнитель в состоянии расплава может сохраняться непрерывность системы с изменением характерных размеров полимерной фазы [1]. При формовании композита в состоянии расплава, на его поверхности также может формироваться некоторый насыщенный наночастицами слой за счет эффекта миграции наполнителя к поверхности, тем самым влияя на функциональные характеристики композитного материала [2]. Так, например, для систем, не выдержанных продолжительное время в состоянии расплава, проводимость может быть слишком низкой, чтобы ее можно было обнаружить во всем диапазоне концентраций. В то время как после выдержки композита в состоянии расплава продолжительное время наблюдается увеличение электропроводности, причем чем дольше система находится в состоянии расплава, тем при меньшей концентрации наполнителя наблюдается увеличение электропроводности.

Целью данной работы являлась формулировка основных научных представлений об эволюции морфологии многокомпонентных полимерных композитных материалов, за счет проведения исследований трибологических свойств двухкомпонентных систем от времени выдержки в состоянии расплава. В качестве объектов исследования использовали особый тип углеродного наполнителя – наноалмазную шихту детонационного синтеза, полученную при детонации взрывчатых веществ различного типа. Используемые порошки наполнителя отличались исключительно соотношением содержания графитовой и наноалмазной фаз. Было выявлено, что, изменяя не только тип наполнителя, но и время выдержки полимерного композита в состоянии расплава, мы можем в значительной мере контролировать поверхностные характеристики композитных материалов.

Список литературы:

[1] X. Zhang, T. Wada, P. Chammingkwan et al. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing **126**, 105602 (2019). [2] Lebedev O. V, Goncharuk G.P., Ozerin A.N. Polymers (Basel). **13**, 1030 (2021)

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-73-01269.

ВЛИЯНИЕ γ -ИЗЛУЧЕНИЯ НА ГИДРОЛИЗ ПЛЕНОК ПОЛИ(L-ЛАКТИДА) ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Федоренко А.А.^{1,2}, Гринюк Е.В.^{1,2}, Сальникова И.А.³, Костюк С.В.^{1,2}

¹ Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», г. Минск

² Белорусский государственный университет, г. Минск

³ Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» НАН Беларуси, д. Прилесье
sashfedorenko@gmail.com

Одной из ключевых экологических проблем, на сегодняшний день, является проблема загрязнения окружающей среды отходами полимерной упаковки. Также, не до конца решен вопрос переработки такой упаковки для повторного использования полимера. Среди полимеров, деструкция которых в окружающей среде происходит в короткие сроки, наибольший интерес уделяется полилактиду. По своим деформационно-прочностным свойствам данный полимер близок к полиэтилентерефталату. При этом его гидролитическая деструкция в окружающей среде происходит в сроки от нескольких месяцев, до нескольких лет [1]. Ускорение данного процесса представляет интерес, как для дальнейшей переработки, так и для утилизации материалов. Целью данного исследования являлось изучение влияния γ -излучения на последующий гидролиз пленок промышленного поли(L-лактида) при повышенных температурах.

Изменения молекулярной массы полимера в процессе гидролиза изучали методом гель-проникающей хроматографии. Используя полученные данные о величине M_n были рассчитаны константы скорости гидролитической деструкции для поли(L-лактида), облученного различными дозами. Было показано, что облучение ускоряет гидролиз. Более того, в случае образца облученного дозой 75 кГр отсутствовал индукционный период потери массы. Однако, снижение молекулярной массы поли(L-лактида), при облучении, также приводило к ускорению его кристаллизации. Степень кристалличности образцов оценивали методом рентгеноструктурного анализа и Фурье-ИК спектроскопии. На высокую степень кристалличности образцов косвенно указывало появление бимодальности на кривых гель-проникающей хроматографии. При этом скорость гидролиза поли(L-лактида) с высокой степенью кристалличности резко снижалась. Таким образом, облучение с одной стороны ускоряет процесс гидролиза, с другой, при проведении процесса при повышенной температуре, предварительное облучение также приводит к ускорению кристаллизации поли(L-лактида), что в последствие его гидролиз замедляет.

Список литературы: [1] Fedorenko A.A., Grinyuk E.V., Salnikova I.A., Kostjuk S.V. Polymer degradation and stability **206**, 110202 (2022).

Благодарности

Исследования выполнялись при финансовой поддержке НИР 1.3.04.05 "Радиационно-химическое модифицирование структуры и свойств синтетических и природных биodeградируемых полимеров" ГПНИ "Энергетические и ядерные процессы и технологии".

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В ЭПОКСИДНОЙ ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОЛИСУЛЬФОНОМ И АКТИВНЫМ РАЗБАВИТЕЛЕМ

Пономаренко А.Д., Шапагин А.В.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, г. Москва
ponomarenhik@gmail.com*

Эпоксидные смолы – наиболее распространённый тип связующих для полимерных композиционных материалов конструкционного назначения. Несмотря на широкое применение связующих на основе эпоксидов, их применение требует решения определенных технологических и функциональных проблем. Для достижения необходимого комплекса свойств прибегают к их модифицированию термопластичными полимерами. При этом основной проблемой технологического характера эпоксидных связующих становится высокая вязкость при температуре переработки. Для понижения вязкости эпоксидных связующих применяют активные разбавители с функциональными эпоксидными группами, которые участвуют в реакции отверждения эпоксидных смол, при этом снижая общую вязкость системы. Однако несмотря на всестороннее применение подобных модификаторов, остается малоизученным вопрос совместимости в трехкомпонентной системе эпоксидный олигомер-термопласт-активный разбавитель. Информация о фазовых равновесиях в исходной многокомпонентной системе позволит прогнозировать фазовую структуру отвержденных композиций. В качестве объектов исследования использовали диановый эпоксидный олигомер марки ЭД-20 (ООО «СИПО», Россия), алкил глицидиловый эфир С12-С14 (ООО «СИПО», Россия) и полисульфон марки ПСК-1 (АО «Институт пластмасс», Россия), отвердитель диаминодифенилсульфон ДДС (ООО «АВА ПРОВАЙДИНГ», Россия).

Методом оптической интерферометрии и рефрактометрии исследованы фазовые равновесия и взаимодиффузия в эпоксидной трехкомпонентной системе, модифицированной термопластом и активным разбавителем. Изучены диффузионные зоны систем с различным соотношением компонентов. Рассчитаны коэффициенты взаимодиффузии компонентов, определяющие технологические режимы смешения компонентов. Рассчитаны парные параметры взаимодействия компонентов тройной системы. Построены изотермические сечения тройной диаграммы фазовых равновесий.

Методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) изучена структура отвержденных эпоксиполисульфоновых смесей с активным разбавителем. На концентрационном поле диаграммы фазового состояния нанесены области, соответствующие различным типам фазовых структур.

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ПОЛИЛАКТИД-ПОРФИРИН АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Захаров М.С., Мороков Е.С., Тертышная Ю.В.

*Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук,
г. Москва*

Imbaroson@yandex.ru

Синтез новых полимерных биологически активных соединений и получение полимерных материалов биомедицинского назначения являются активно развивающейся областью. Особый интерес представляют полимер-порфириновые системы различного строения. Полимер-порфириновые иммобилизаты очень востребованы в современной науке благодаря их уникальным свойствам. Такие системы могут применяться в качестве катализаторов в химических реакциях, сенсбилизаторов, а также они имеют большой потенциал в области медицинской диагностики и онкотерапии.

В данной работе акустическим методом исследовались полимерные композиционные материалы на основе полилактида (ПЛА) и синтетического 5,10,15,20-тетракис-(*p*-*n*-гексилорифенил)порфирина (ТФП-4ОС₆). Полилактид – один из самых исследуемых биоразлагаемых полиэфиров, мономер для производства которого получают из возобновляемого растительного сырья.

Оценка упругих характеристик образцов полимеров проводилась с использованием импульсного акустического микроскопа SIAM 2017, разработанного и изготовленного в Институте биохимической физики Российской академии наук. Расчет упругих характеристик пленочных композитов проводился на основе анализа эхограмм, которые использовались для измерения скоростей распространения продольного C_L и поперечного звука волны компьютерной томографии C_T . Вместе с данными о плотности материала вычисляются модули упругости - модуль сдвига G , модуль всестороннего сжатия K , модуль упругости E и коэффициент Пуассона μ .

Исследования проводились на пленочных образцах ПЛА/ТФП-4ОС₆ с различной концентрацией порфирина в полимерной матрице (0, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 масс.%). Скорость продольного и поперечного сечения с увеличением концентрации порфирина остается без изменений. Плотность, с повышением концентрации, имеет тенденцию к уменьшению. Такую же тенденцию имеет модуль сдвига и модуль упругости. Модуль всестороннего сжатия и коэффициент Пуассона изменяются незначительно.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-72-00043.

ПОДБОР ОТВЕРДИТЕЛЕЙ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ТЕРМОСТОЙКОСТИ БЫСТРООТВЕРЖДАЕМЫХ ФТАЛОНИТРИЛЬНЫХ СВЯЗУЮЩИХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СОТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

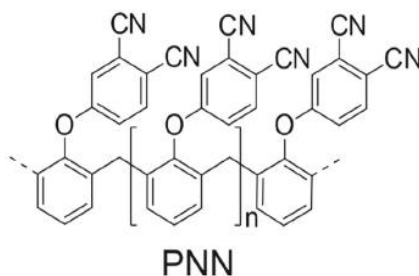
Кондратьев В.Н., Кепман А.В., Морозов О.С.

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва
c7h6o@yandex.ru

Сотовые наполнители представляют собой пространственную структуру, состоящую из множества шестигранных или иной формы ячеек. Благодаря высоким удельным характеристикам сотовые наполнители позволяют значительно снизить массу многослойной конструкции при сохранении высоких прочностных показателей.

Как правило, для изготовления высокотемпературных сотовых конструкций, эксплуатирующихся при температурах 250 – 350 °С, в качестве армирующего наполнителя используются стеклоткани, а в качестве матрицы - полиимидные связующие, такие как РМР-15, СП-97С. Однако существенным недостатком полиимидных связующих является низкая технологичность, высокое газовыделение в процессе поликонденсации.

Одним из классов связующих, способных сохранять свои свойства вплоть до 350 °С, являются фталонитрилы, которые в ходе поликонденсации образуют трехмерную сшивку, без выделения газообразных продуктов. Для изготовления сотовых конструкций выбрано наиболее быстроотверждаемое фталонитрильное связующее из описанных в литературе – PNN [1].



Однако при отверждении данного олигомера новолачной смолой, полученный состав не способен длительно эксплуатироваться при 300°С.

В ходе работы проведено исследование влияния различных отвердителей на термоокислительную стабильность матрицы на основе PNN. Изучено влияние отвердителей на образование триазиновых, фталоцианиновых и изоиндолиновых структур.

Список литературы:

[1] *Poliakova D. et al.* Fast-Processable Non-Flammable Phthalonitrile-Modified Novolac/Carbon and Glass Fiber Composites // *Polymers (Basel)*. **Vol. 14**, № 22. P. 4975 (2022).

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания АААА-А21-121011590086-0 Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

**СУПЕРКОНДЕНСАТОРЫ НА ОСНОВЕ ГИДРОГЕЛЯ
ПОИАНИЛИНА И ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ
СОПОЛИМЕРОМ 2-АКРИЛАМИДО-2-
МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОНОВОЙ КИСЛОТЫ С АКРИЛАТОМ
НАТРИЯ**

Батищева Е.В., Смирнов Н.Н., Боброва Н.В., Соколова М.П., Смирнов М.А.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
batischevaelisaveta@gmail.com*

В настоящее время Nafion (DuPont) является «золотым стандартом» материала для ион-проводящих мембран в химических источниках тока [1], таких как суперконденсаторы и топливные элементы. Однако данный тип мембраны характеризуется высокой стоимостью из-за особенностей процессов ее производства и сложен в переработке, что делает поиск альтернативных, особенно «зеленых» [2], материалов для ион-проводящих мембран актуальной задачей современной науки и техники [3].

В данной работе ион-проводящие мембраны полученные «зеленым» методом на основе нановолокон бактериальной целлюлозы (НБЦ), модифицированных сополимером акрилата натрия и 2-акриламидо-2-метилпропансульфоновой кислоты исследованы в качестве сепаратора в симметричном суперконденсаторе с электродами на основе гидрогеля, содержащего полиакриламид и полианилин. Было показано, что тестовая ячейка обладает максимальной емкостью 289 Ф/г при плотности тока 1 А/г. Полученная мембрана характеризуется низким сопротивлением переноса заряда, что в сочетании с гелевой природой электродного материала обеспечивает способность тестовой ячейки работать при высокой плотности тока до 100 А/г при сохранении удельной емкости 165 Ф/г. Кроме того, используемая мембрана обладает высокой электрохимической стабильностью, сохраняя 90% начальной емкости после 10000 циклов заряда-разряда. Таким образом, полученный материал имеет потенциал в качестве экологически чистых в производстве ион-проводящих мембран для применения в электрохимических накопителях энергии.

Список литературы:

- [1] Ng, W.W A. *et al.* Membranes. **12**, 506 (2022).
- [2] Jian, M. *et al.* Chinese Journal of Polymer Science. **38**, 459-490 (2020).
- [3] Okonkwo, P.C. *et al.* Application of Biopolymer Composites in Super Capacitor. Elsevier, (2017).

ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ ЭЛЕКТРОДОВ ИЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА СВОЙСТВА ИОННЫХ АКТУАТОРОВ

Иванченко А.В., Морозов О.С., Бабкин А.В.

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва
nuta.avi@gmail.com*

Ионные актуаторы представляют собой трехслойные электромеханические преобразователи, состоящие из полимерной мембраны, покрытой с двух сторон электродами. При подаче напряжения между электродами устройства происходит миграция ионов электролита, что приводит к деформации устройства. Для изготовления актуаторов используют bucky-gel электроды, состоящие из углеродных нанотрубок (УНТ), ионной жидкости и связующего полимера— поливинилиденфторида (ПВДФ). Этот полимер широко используется для получения пористых мембран, морфологию которых можно контролировать, используя разные добавки в процессе изготовления.

Целью данной работы является исследование влияния добавок-порообразователей на морфологию электродов на основе УНТ и, как следствие, на свойства актуатора. Пленочные электроды были получены путем введения добавок в дисперсию УНТ в растворе ПВДФ в N-метилпирролидоне. В качестве добавок использовались полиэтиленгликоль (ПЭГ4000), 1-бутил-3-метилимидазолия тетрафторборат (БМИмBF₄) и дибутилфталат (ДФ). Далее порообразователи удалялись экстракцией ацетонитрилом. На основе полученных пленок электродов были изготовлены серии образцов исполнительных устройств. Для достижения воспроизводимости свойств актуаторов был разработан способ их изготовления на основе напечатанных на 3D-принтере мембран, содержащих ионные жидкости – БМИмBF₄ или 1-метил-3-октилимидазолия тетрафторборат (ОМИмBF₄). Изготовленные актуаторы испытывали при постоянном и переменном напряжении для оценки генерируемых устройствами максимальной деформации и блокирующей силы.

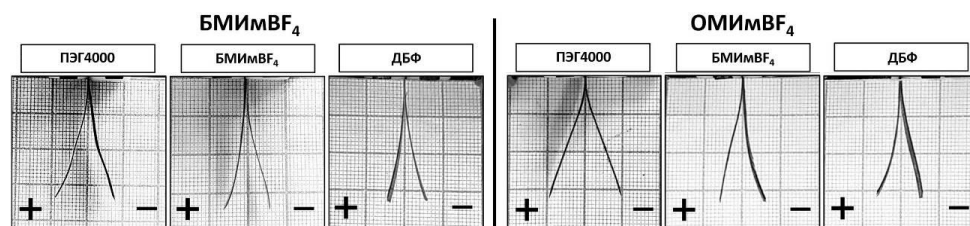


Рис. 2 - Деформация актуаторов на основе мембран с разными ионными жидкостями.

Было показано, что полученные электроды характеризуются одинаковыми пористостью и емкостью вне зависимости от использованной порообразующей добавки. При этом отличия в получаемых структурах позволяют влиять на деформацию конечных устройств: актуаторы на основе электродов с ПЭГ4000 показывали значения деформации в 1,5 раза больше аналогов.

Благодарности

Работа выполнена в рамках работ по теме № АААА-А21-121011590086-0 гос. задания.

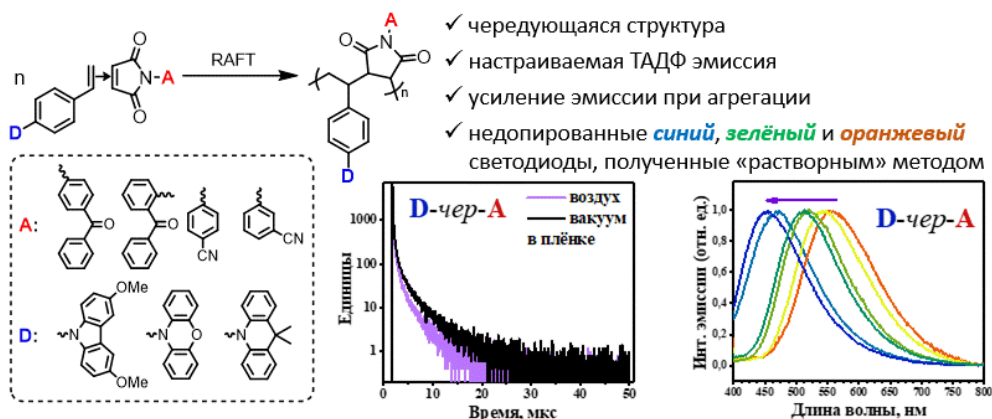
ЧЕРЕДУЮЩИЕСЯ ТАДФ СОПОЛИМЕРЫ ДЛЯ НЕДОПИРОВАННЫХ СВЕТОДИОДОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ “РАСТВОРНЫМ” МЕТОДОМ

Белоусов Г.К.^{1,2}, Вайтусёнок А.А.^{1,2}, Костюк С.В.^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

²Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета, г. Минск, Беларусь
george.vusau@gmail.com

Полимеры, обладающие термически активированной отложенной флуоресценцией (ТАДФ), являются перспективными материалами для создания на их основе органических светодиодов. Изготовление эмиттера из полимерного материала позволяет существенно увеличить срок службы светодиода благодаря высокой морфологической и термостабильности высокомолекулярных соединений, а также удешевить их изготовление за счёт использования т.н. “растворных” методов нанесения полимеров, таких как “spin-, roll-to-roll coatings” и “inkjet printing”. К тому же, электролюминесценция по механизму ТАДФ позволяет реализовывать энергию как синглетных, так и триплетных экситонов, что увеличивает квантовую эффективность устройств на основе таких люминофоров [1]. В ходе настоящей работы нами были исследованы фотофизические свойства чер-сополимеров на основе донорных мономеров стирольного типа (D) и акцепторных мономеров малеимидного типа (A), а также изготовлена серия органических светодиодов III-го поколения, сделанных с использованием исследованных материалов в качестве эмиссионных слоёв.



На примере изученных чер-сополимеров было показано, что, варьируя пару D-A, можно задавать цвет эмиссии таких материалов от оранжевого до тёмно-синего. Созданные на основе данных сополимеров светодиоды были изготовлены “растворным” методом и продемонстрировали внешнюю квантовую эффективность до 8 %.

Список литературы:

[1] Yin, X. [et al.] Front. Chem. **8**, 725 (2020).

Благодарности

Авторы благодарят БРФФИ Беларуси (проект БРФФИ-НФЕНК 2022, код проекта Х22КИ-024) за финансовую поддержку.

СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ ПОЛИЛАКТИД – МЕТАЛЛОКОМПЛЕКС МЕЗО-ЗАМЕЩЕННОГО ПОРФИРИНА

Терлеева В.Ю.¹, Тертышная Ю.В.², Танделов А.-Т. Т.², Жданова К.А.¹

¹Российский технологический университет – МИРЭА, г. Москва

²Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля Российской академии наук,
г. Москва

Alien-jul@mail.ru

Порфириин-полимерные системы обладают большим потенциалом в точки зрения их биоактивности. Известно, что такие системы применяются в медицине, в частности в фотодинамической терапии (ФДТ). Однако не все порфириновые иммобилизаты пригодны для ФДТ. Существуют соединения, которые не могут применяться в фотоиницируемых методах, но они обладают антибактериальной активностью, достаточной для их использования в качестве биоактивных полимерных материалов и/или функциональных покрытий.

В данной работе получен иммобилизат комплекса 5,10,15,20-(4-*n*-гексилорифенил)порфирина с Mn(III). Важно отметить, что применение незамещенных порфиринов часто ограничивается их низкой растворимостью, что приводит к образованию неупорядоченных агрегатов в органических или водных растворах. Функционализация макроцикла высшими алкильными заместителями рассматривается как один из эффективных способов предотвращения агрегации в органических средах.

В качестве полимерной матрицы был выбран полилактид (ПЛА). ПЛА – это биоразлагаемый и биосовместимый линейный полиэфир. ПЛА используется для различных медицинских применений: шовные нити, имплантаты, системы доставки лекарств. Образцы ПЛА-порфирина были получены из раствора хлороформа. Исследование структуры и свойств полученных пленочных композиций ПЛА-порфирина проводили методами электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), УФ-спектроскопией в видимой области, ИК (НПВО)-спектроскопией, сканирующей электронной микроскопией (СЭМ) и люминесцентной микроскопией.

В результате повышения концентрации металлокомплекса увеличивается количество структурных неоднородностей в виде отдельных агрегированных частиц. При добавлении порфирина в матрицу ПЛА время корреляции зонда увеличивается, что может быть следствием упорядоченности аморфной фазы. Методом УФ-спектроскопии установлено, что металлопорфирин повышает симметрию плоского макроциклического фрагмента, что приводит к упрощению спектра. Мезо-замещенные порфирины имеют искаженный этио-тип спектра с большим батохромным сдвигом полос. Также было определено, что комплекс 5,10,15,20-(4-*n*-гексилорифенил)порфирина с Mn(III) не флюоресцирует, в отличие от 5,10,15,20-(4-*n*-гексилорифенил)порфирина без комплекса металла.

ПОЛИМЕРНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ Na^+ И Cl^- В ПОТОВОЙ ЖИДКОСТИ

Сюткин В.С., Пешкова М.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, институт химии,
г. Санкт-Петербург
st087670@student.spbu.ru

Муковисцидоз — это наследственное заболевание, обусловленное мутацией гена трансмембранного регулятора, при котором нарушаются функции желёз внешней секреции. Диагностика включает в себя три стадии, одна из них – потовый тест, где выявляют содержание ионов Na^+ и/или Cl^- в потовой жидкости. Результат теста является положительным в случае превышения концентрации ионов натрия и хлора уровня 60-70 ммоль/л. В настоящее время метод включает пробоотбор путем электрофореза с пилокарпином (метод Гибсона и Кука) [1]. Из-за сложности пробоотбора в случае новорожденных, недостаточного выделения образца для анализа и длительности данный метод несовершенен. Все эти проблемы можно решить, используя *in situ*, то есть, непосредственно на коже пациента, полимерные оптические сенсоры, селективные к ионам Na^+ и Cl^- .

Наиболее распространены гидрофобные оптоды на основе поливинилхлорида и различных пластификаторов, чаще всего сложноэфирной природы. Для получения сигнала на ионы раствора в полимерные оптодные композиции добавляют ионофоры (лиганды). Это химические вещества, которые способны селективно образовывать комплекс с исследуемым ионом. Также добавляют хромоионофор – гидрофобный рН-индикатор, который окрашивает полимерную фазу в определённый цвет и изменяет свое светопоглощение в зависимости от степени протонирования.

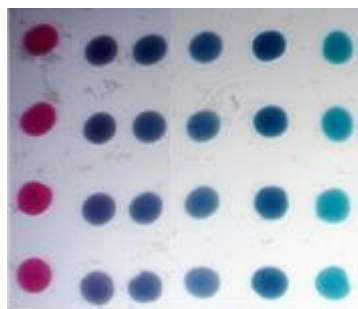


Рис. 1. Массив полимерных оптических сенсоров, нанесенный на подложку из тефлона.

В данной работе проводилась теоретическая и экспериментальная оптимизация составов оптических сенсоров для измерения содержания ионов Na^+ и Cl^- в потовой жидкости. В качестве модельных сред были выбраны три композиции искусственного пота [2], [3], различающиеся рН и качественным составом. Для каждого из модельных образцов был теоретически или эмпирически оптимизирован состав соответствующей оптодной мембраны. Изменение сигнала полимерной мембраны регистрировалось двумя методами: макрофотографированием с цифровым анализом цвета и спектрофотометрией. Апробация проводилась путём построения градуировочных зависимостей доли депротонированного хромоионофора от активности Na^+

или Cl^- в модельном растворе пота. Работоспособность сенсоров подтверждалась методом введено-найдено. Степень извлечения не превышала 10 %.

Список литературы:

- [1] Gibson L., Cooke R. Pediatrics. 1959.
- [2] ГОСТ Р ИСО 11641-2015.
- [3] Callewaert C. et al. J. Microbiol. Methods. Elsevier B.V. 103 (2014) 6–8.

ИССЛЕДОВАНИЕ АБСОРБЦИОННЫХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРОВ ПОЛИЛАКТИДА И ПОЛИГИДРОКСИБУТИРАТА С ХИТОЗАНОМ И ВЛИЯНИЯ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ИХ СТРУКТУРУ

Яхина А.Р., Жорина Л.А., Роговина С.З., Ломакин С.М., Усачев С.В.

*Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова
Российской академии наук, г. Москва
nastya0496@mail.ru*

Очистка водных сред от ионов тяжелых металлов, негативно влияющих на человеческий организм, представляет собой серьезную экологическую проблему, требующую поиска новых эффективных методов своего решения. Создание биоразлагаемых абсорбентов, получаемых из возобновляемого сырья и обладающих хорошими технологическими свойствами, является одним из возможных вариантов решения этой задачи. В этой связи в данной работе разработаны двойные полимерные селективные абсорбенты ионов железа на основе синтезируемых из природного сырья полиэфиров полилактида (ПЛА), полигидроксибутирата (ПГБ) и полисахарида хитозана, обладающие хорошими сорбционными и механическими свойствами, а также способностью к биоразложению после окончания срока эксплуатации. Для определения эффективности использования двойных полимерных композиций ПЛА-хитозан и ПГБ-хитозан с соотношением компонентов (50:50) мас.% в качестве абсорбентов было проведено изучение их абсорбционной способности по отношению к ионам железа с использованием метода рентгено-флуоресцентного анализа (РФА). Установлено, что сорбция ионов Fe^{3+} композицией ПГБ-хитозан из водных растворов в два раза выше, чем композицией ПЛА-хитозан. Методом ДСК проведено сравнительное изучение теплофизических характеристик и термической стабильности исходных полиэфиров ПЛА и ПГБ, их композиций с хитозаном, а также композиций, содержащих сорбированные ионы железа. Определены температуры и энтальпии фазовых переходов и рассчитана степень кристалличности исследуемых полимерных систем. Продемонстрировано влияние ионов Fe^{3+} на изменение параметров фазовых переходов полиэфиров и повышение термостабильности композиций. Установлено, что наиболее заметно этот эффект проявляется у композиции ПЛА-хитозан. В процессе эксплуатации пленочные композиции могут подвергаться воздействию УФ-облучения. Структурные изменения полиэфиров ПЛА и ПГБ, протекающие под действием УФ-излучения, были исследованы методом ИК-Фурье-спектроскопии. Анализ полученных данных свидетельствует о преимущественном разрыве сложноэфирных связей полиэфиров в процессе фотодеструкции, приводящем к снижению их молекулярной массы и, как следствие, способствующем их последующей утилизации.

Благодарности

Работа выполнена в рамках Государственного задания № FFZE-2022-0010.

**ФЕРРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ ПОЛИГИДРОКСИЭТИЛМЕТАКРИЛАТА:
СИНТЕЗ, НАБУХАНИЕ В ВОДЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

Нохрин К.А., Сафронов А.П.

Уральский Федеральный Университет, г. Екатеринбург

Nokhrin.konstantin@urfu.ru

Феррогель — это гидрогель, в который внедрены диспергированные магнитные частицы. Феррогели находят широкое применение в медицине, биоинженерии, биотехнологии как биосенсоры, устройства контролируемой доставки лекарств, искусственные мышцы, системы для очистки воды и др. Преимуществом использования феррогелей для этих целей является возможность управления их поведением с помощью внешнего магнитного поля. Степень набухания и модуль упругости феррогелей, определяющие их функциональные свойства, можно регулировать посредством изменения содержания сшивающего агента, наночастиц, а также концентрации мономера во время синтеза.

Целью данной работы являлся синтез феррогелей на основе полигидроксиэтилметакрилата ПГЭМА и наночастиц магнетита Fe_3O_4 , и изучение степени набухания и механических свойств полученных композитных материалов. Феррогели синтезировали в водном растворе 2-гидроксиэтилметакрилата (ГЭМА) с концентрацией мономера 2; 4 и 5 моль/л. Для сшивания использовали метиленадиакриламид (МДАА) в мольном соотношении к мономеру 1:100. Для инициирования реакции полимеризации использовали окислительно-восстановительную реакцию между пероксодисульфатом аммония (ПСА) и N,N,N',N'-тетраметил-1,2-этилендиамина (ТЕМЕД) при комнатной температуре. В качестве магнитного наполнителя добавляли частицы магнетита Fe_3O_4 в диапазоне от 10 до 40% по массе, а также синтезировали образцы сравнения без добавления магнитных частиц. Использовали магнетит (Alfa Aesar) с удельной поверхностью $6.9 \text{ м}^2/\text{г}$. Частицы имели квазисферическую форму со средним диаметром 300 нм.

Гидрогели, синтезированные при концентрации мономера меньше 4.8 моль/л являются молочно-белыми, непрозрачными, что свидетельствует о их гетерогенности. При большем значении концентрации ГЭМА гидрогели получают гомогенными. Степень набухания полимерной сетки ПГЭМА феррогелей увеличивается с ростом содержания магнитных частиц. Тенденция наблюдалась как для гетерогенных, так и для гомогенных феррогелей. Это может быть связано со слабым адгезионным взаимодействием магнитных частиц с полимерной сеткой, что приводит к её разрыхлению и большему набуханию. При содержании магнитных частиц свыше 40% по массе, феррогели разрушались из-за высокой агрегации частиц магнетита и уменьшения эффективности сшивания полимерной сети. Модуль упругости феррогелей уменьшался по сравнению со значениями для ненаполненных гидрогелей ПГЭМА. Вероятно, увеличение концентрации магнитных частиц приводит к появлению структурных дефектов и нарушению непрерывности полимерной сети.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 20-12-00031).

РЕГУЛИРОВАНИЕ ФАЗОВОЙ СТРУКТУРЫ В КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕЙСЯ, РЕАКЦИОННОСПОСОБНОЙ СИСТЕМЕ ПОЛИКАПРОЛАКТОН–ЭПОКСИДНЫЙ ОЛИГОМЕР (ПКЛ–ЭО)

Плюснина И.О., Никулова У.В., Хасбиуллин Р.Р., Шапагин А.В.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской
академии наук, г. Москва
IrinaPlyusninaR@yandex.ru*

Известно, что процесс реакции отверждения в гетерогенной системе термопласт/эпоксид приводит к фазовому разделению. В результате материал может характеризоваться различным типом фазовых структур, что напрямую влияет на эксплуатационные характеристики материала. Интерес представляет изучение физико-химических и технологических параметров, позволяющих регулировать структуру отвержденных систем и как следствие свойства композиционного материала (КМ). Предлагаемый нами подход к изучению фазовой структуры отверждающихся модифицированных систем – прогноз структуры отвержденного при заданной температуре композиционного материала (КМ). В качестве модельной системы, позволяющей установить комплекс физико-химических и технологических параметров и их влияние на фазовую структуру, состав и размеры структурных элементов нами была выбрана система эпоксидный олигомер (ЭО) – поликапролактон (ПКЛ) отвержденная 4,4'-диаминодифенилсульфоном (ДДС). Ранее в исходной неотвержденной системе ПКЛ-ЭО нами была исследована взаимодиффузия и фазовые равновесия [1,2]. Методом оптической интерферометрии исследовали фазовые равновесия в системе ПКЛ–ЭО в присутствии ДДС. Показано, что одним экспериментом можно определить середину концентрационного диапазона области обращения фаз, со структурой типа взаимопроникающие фазы (ВПФ). Рассчитаны концентрационные диапазоны, характеризующихся различными типами фазовых структур. Показано, что структура отвержденных смесей с различными концентрациями компонентов коррелирует с определенными нами концентрационными диапазонами, характеризующимися заданными типами фазовых структур. Построены и прослежена эволюция линии ликвидус и бинодали в процессе реакции отверждения. Методом ИК-спектроскопии идентифицировали состав сосуществующих фаз. Методом оптической микроскопии *in situ* исследованы структурно-морфологические особенности формирования ВПФ. Комплексные исследования методами оптической интерферометрии, дифференциальной сканирующей калориметрии, сканирующей электронной микроскопии, ИК-спектроскопии и оптической микроскопии позволили исследовать параметры, определяющие тип фазовой структуры, размер фазовых структур и состав сосуществующих фаз.

Список литературы:

- [1] Plyusnina I.O., Budylin N.Yu., Shapagin A.V. *Polymers*. **15**, 117 (2022).
- [2] Плюснина И.О., Будылин Н.Ю., Шапагин А.В. *Олигомеры-2022*. Суздаль, Россия (2022). **Том 2**, 46.

СОПОЛИМЕРЫ АКРИЛОНИТРИЛА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛОКНА ИЗ РАСПЛАВА

Осипова Н.И.^{1,2}, Томс Р.В.^{2,3}, Черникова Е.В.^{1,2}

¹*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

²*Институт нефтехимического синтеза имени А.В. Топчиева РАН, г. Москва*

³*МИРЭА – Российский технологический университет, Институт тонких химических технологий, г. Москва*
natosi2008@yandex.ru

В настоящее время углеродное волокно (УВ) получило широкое применение во многих отраслях жизни, поэтому усовершенствование и удешевление технологий синтеза прекурсоров УВ и последующего формования волокна вызывают большой научный и практический интерес. Сополимеры акрилонитрила являются одними из наиболее востребованных прекурсоров («белое» волокно») для получения УВ. Формование полимерных волокон осуществляют из раствора или расплава. Формование волокна из расплава позволяет существенно повысить концентрацию полимера за счет отсутствия растворителя. Однако для полиакрилонитрила (ПАН) формование из расплава является не простой задачей, что связано с тем, что его температура течения зачастую выше температуры циклизации. Это приводит к тому, что при нагревании ПАН превращается из линейного в лестничный полимер и теряет способность к течению.

В технологии расплавного формования сополимеров АН перспективны мономеры, понижающие кристалличность ПАН и инертные в реакции циклизации. Согласно литературным данным такими сомономерами являются алкилакрилаты и 1-винилимидазол.

В настоящей работе предлагается использовать радикальную полимеризацию с передатчиком цепи для синтеза композиционно-однородных сополимеров с узким ММР. В качестве сомономеров использовались аклилакрилаты с разной длиной алкильного заместителя (метил, бутил, 2-этилгексил) и ВИМ. Полимеризацию проводили в растворе ДМСО, содержание сомономера варьировалось от 15 до 20 мол. %. Изучено влияние молекулярной массы сополимера, химической природы сомономера и его содержание в сополимере, а также микроструктуры цепи на процессы циклизации и термоокислительной стабилизации, изучены реологические свойства расплавов сополимеров. Формование волокон осуществлялось из расплава, изучены механические характеристики волокон.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-79-30108-П).

ЭФФЕКТ ПАМЯТИ ФОРМЫ В ГЕЛЯХ НА ОСНОВЕ ГИДРОФОБИЗИРОВАННЫХ НАНОВОЛОКОН ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ

Просвирнина А.П.¹, Бугров А.Н.^{1,2}, Сивцов Е.В.^{1,3}, Николаева А.Л.¹, Камалов А.М.¹, Соколова М.П.¹, Смирнов М.А.¹

¹ *Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук, г. Санкт-Петербург*

² *Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический университет (СПбГЭТУ “ЛЭТИ”), г. Санкт-Петербург*

³ *Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург
aprosvirnina95@gmail.com*

В рамках данной работы были изучены материалы на основе хлорида холина (ХХл), акриловой кислоты (АК) и модифицированных 3-(триметоксисилил)пропил метакрилатом нановолокон бактериальной целлюлозы (М-НВЦ) по методике, представленной в работе [1]. Были приготовлены составы для 3D-печати содержащие 4 масс. % М-НВЦ в смеси ХХл и АК в соотношении 1:3 с добавлением воды как соразтворителя. Исследованы дисперсии с содержанием воды 5, 12 и 30 масс.%. Измерение реологических характеристик показало, что все составы ведут себя как неньютоновские жидкости. После 3D-печати и УФ-инициированной радикальной полимеризации, были получены композитные гели со структурой двойной сетки, включающей в себя химически и физически сшитые подсетки, состоящие из М-НВЦ и смеси ХХл с полиакриловой кислотой. Были исследованы механические свойства полученных гелей, а также способность полученных систем проявлять эффект памяти формы в динамическом и статическом режиме. Показано, что оптимальное количество воды позволяет улучшить прочность и модуль упругости гелей, что может быть связано с формированием более тесных контактов между гидрофобизованными нановолокнами бактериальной целлюлозы. В процессе УФ-индуцированной полимеризации структура фиксируется, что приводит к формированию сплошного упрочняющего каркаса на основе нановолокон бактериальной целлюлозы. Добавление 12 масс. % воды приводит к увеличению прочности и максимального удлинения до 11.9 МПа и 300%, соответственно в сравнении с 5.5 МПа и 100% для безводного образца. В то же время, лучшими характеристиками памяти формы обладает образец, приготовленный без добавления воды: коэффициенты фиксации и восстановления формы составляют 80 и 96%, соответственно.

Список литературы:

[1] *Prosvirnina, A.P.; Bugrov, A.N. et al. J. Mater. Sci.* **57**, 20543–20557 (2022).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ грант № 21-13-00111. Реологические исследования выполнены на оборудовании инженерингового центра СПбГТИ(ТУ).

РАЗРАБОТКА ПОЛИМЕРНОГО БЕСКАЛИБРОВОЧНОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ ДЛЯ *IN SITU* АНАЛИЗА БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

Грязев И.П., Пешкова М.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
iv.gryazev@gmail.com

Проблема персонализации медицины в последнее время становится все актуальнее. Одним из путей развития в данном направлении может стать разработка дешевых устройств для экспресс-анализа, основанных на полимерных оптических сенсорах (оптодах), уже применяющихся во многих областях науки в качестве аналитических инструментов, обладающих низкими пределами обнаружения, нечувствительностью к электрическим помехам и компактностью. Активно ведутся работы по созданию безградуировочных оптодных массивов [1] (рис. 1), содержащих шкалу стандартов оптического сигнала, которая позволяет нивелировать влияние на сенсорный отклик освещенности и изменения состава сенсорной фазы со временем. Однако до сих пор не было изучено взаимодействие оптодных составов с полимерными материалами, которые могут быть использованы для создания аналитических устройств. Инертность материала и стабильность аналитических характеристик сенсоров являются ключевыми аспектами, необходимыми для использования подобных устройств на практике. В ходе данной работы была изучена применимость оптодной шкалы для проведения анализа, а также получены результаты предварительных экспериментов по изучению взаимодействия оптодных композиций с материалами полимерных подложек (рис. 2), наиболее подходящих для создания устройств для экспресс-анализа.

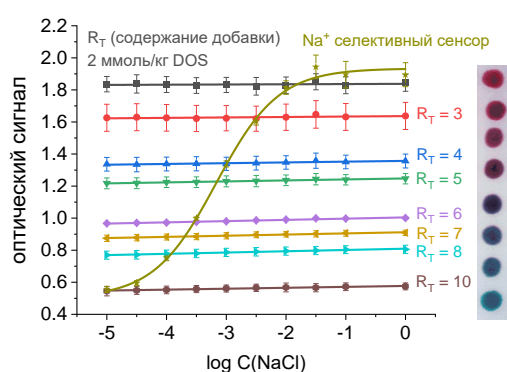


Рис. 1. Кривые отклика сенсорной композиции и элементов шкалы различного состава на натрий

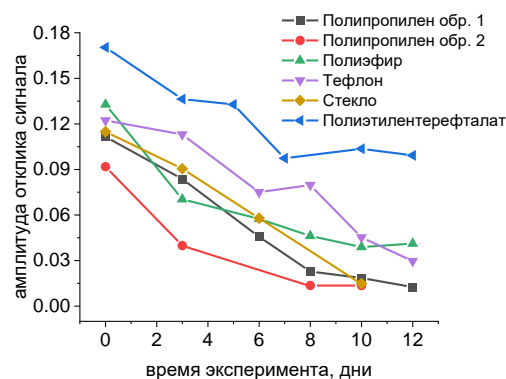


Рис. 2. Временная зависимость амплитуды отклика сенсоров на различных подложках

Список литературы:

[1] Тюфяков Н.Ю. Разработка и экспериментальная апробация безградуировочных многоцелевых массивов ионоселективных оптических сенсоров. Санкт-Петербург, 2021. 72 с.

ВЛИЯНИЕ СТЕАРИНОВОЙ КИСЛОТЫ НА СТРУКТУРУ НАНООРГАНИЗАЦИИ ПОЛИМЕРОВ

Базарова В.Е., Соколова Л.В.

МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва
BazarovaVE@yandex.ru

При вулканизации резиновых смесей часто применяют стеариновую кислоту, которая активно влияет на этот процесс и облегчает диспергирование наполнителя в матрице каучуков. Однако во время синтеза и последующего хранения высокомолекулярных соединений формируется их наноорганизация, которая включает упорядоченные образования разного размера и содержания, а также проходные цепи, соединяющие их в единую систему, и имеет термодинамическую природу [1]. В работе проведен анализ особенностей структуры наноорганизации непердельных каучуков: *цис*-1,4 полибутадиена (ПБ), *цис*-1,4 полиизопрена (ПИ), бутилкаучука (БК) и 1,2-полибутадиена марки СКБ с помощью РСА в области малых и больших углов. В трех последних обнаружены нанообразования размером 5–10 нм наряду с упорядоченными образованиями меньшего размера, которые формируют первый уровень порядка структуры их наноорганизации. О втором уровне порядка их наноорганизации свидетельствуют в основном данные МУРР (рис. 1). Последний в случае БК и ПИ включает по 3 разных вида нанообразований, структурные параметры которых изменились с проявлением фазового ρ_6' перехода при 130°C в них. Наиболее резко увеличился размер нанообразований в СКБ (до 80 нм) с проявлением фазового ρ_5' перехода при 132°C. Структура наноорганизации всех каучуков претерпела дополнительное существенное изменение с введением стеариновой кислоты. Так, в ПБ сформировался новый вид нанообразования размером 20 нм, в БК изменились размер и содержание всех трех видов нанообразований с проявлением ρ_6' перехода. Структура второго уровня порядка наноорганизации ПИ стала более сложной (рис. 1а).

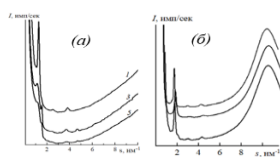


Рисунок 1. Интенсивности малоуглового рассеяния ПИ (а) и БК (б) (1) после нагревания при 140°C (2) и со стеариновой кислотой после нагревания при 100 (3, 4) и 150°C (5).

Столь существенное изменение структуры наноорганизации непердельных каучуков оказало влияние на их динамическую вязкость и на процесс вулканизации их хиноловым эфиром. В частности, на температурных зависимостях скорости сшивания макромолекул ПБ, БК и СКБ проявился фазовый переход в области 130°C с введением стеариновой кислоты и изменился ряд активности каучуков по отношению к хиноловому эфиру. Анализ кинетических зависимостей подтвердил ранее полученные данные, что фазовые ρ_5' и ρ_6' переходы – медленные процессы, требующие не менее 1 час, поскольку обуславливают перестроение структуры обоих уровней порядка их наноорганизации.

Список литературы:

[1] Соколова Л.В. Высокомолек. соед, Т 59, С 318. (2017).

2-О-87
РАЗРАБОТКА НОВОГО КЛАССА ПОЛИМЕРНЫХ
КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ КРАСИТЕЛЕЙ

Прожерин И.С., Похвищева Н.В., Пешкова М.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
IljaProzherin@yandex.ru

Полимерные оптические сенсоры (оптоды) представляют собой изготовленные из пластифицированного ПВХ мембраны, содержащие в составе активный компонент, генерирующий оптический сигнал вследствие установления равновесия между анализируемой и полимерной фазами. Такой механизм отклика обеспечивает низкие пределы обнаружения и определения, а использование в качестве матрицы полимерных материалов придаёт (в отличие от экстракции) анализу неразрушающий характер, упрощает и удешевляет производство сенсоров, позволяет подстраивать их геометрию под решаемую задачу. Многообразие наблюдаемых в природе оптических явлений обусловило появление большого количества классов оптодов, среди которых наибольший интерес (в связи с простотой регистрации аналитического сигнала) представляют колориметрические сенсоры, меняющие цвет в зависимости от содержания аналита в образце (рис. 1). За генерацию оптического сигнала в полимерной матрице сенсоров такого типа отвечают ацидохромы. Изучение перечня используемых веществ приводит к выводу о том, что большинство используемых на сегодняшний день ацидохромов представляют собой липофилизированные (для предотвращения вымывания в анализируемую фазу) производные нильского синего [1]. Это обстоятельство существенно урезает возможности управления количественными (медианой и шириной диапазона отклика) и качественными (λ_{\max} и $\epsilon(\lambda_{\max})$ протонированной и депротонированной форм ацидохрома) характеристиками оптического отклика и требует решения. Многообещающим является предложенный в [2] подход, заключающийся в липофилизации красителей путём перевода в форму ионной пары с липофильным противоионом. В рамках данной работы был синтезирован и охарактеризован ряд модифицированных таким образом ацидохромов, исследованы закономерности оптического отклика полимерных сенсоров на их основе.

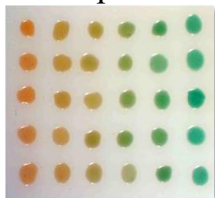


Рис. 1 - Массив колориметрических полимерных сенсоров.

Список литературы:

- [1] Bakker E., Lerchi M., Rosatzin T., Rusterholz B., Simon W. *Analytica Chimica Acta*. **278** (2), 211-225 (1993).
[2] Galpothdeniya W. I. S., McCarter K. S., De Rooy S. L., Regmi B. P., Das S., Hasan F., Taggea A., Warner I. M. *RSC Advances*. **4** (14), 7225-7234 (2014).

ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Лебедев О.В., Тикунова Е.П., Голубев Е.К., Куркин Т.С., Шевченко В.Г.,
Озерин А.Н.

*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова
Российской академии наук, г. Москва
oleg.lebedev@phystech.edu*

В данной работе был исследован эффект ориентационной вытяжки полимерных композитов, полученных твердофазным формованием смеси насцентного реакторного порошка сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и наночастиц различного типа, таких как: графит, графен, технический углерод, одностенные, двухстенные и многостенные нанотрубки, наноалмазная шихта и др. Твердофазная переработка подразумевала проведение всех стадий получения композитных материалов при температурах, не превышающих температуру плавления СВМПЭ. Показано, что таким методом удастся формировать предельно сегрегированную структуру из наноразмерного наполнителя в объеме полимерного композита. Ориентационная вытяжка проводилась в так называемых условиях однородного сдвига [1].

Было исследовано влияние различных параметров переработки на характеристики получаемых композитных материалов. В частности, было изучено влияние следующих параметров: время предварительного ультразвукового воздействия на наночастицы, время ультразвукового воздействия на смесь СВМПЭ/наночастицы, время формования, температура и давление, степень деформации в условиях однородного сдвига и др. Замечено, что при выборе оптимальных значений таких параметров можно получить образцы композитов с высокой степенью равномерности распределения по поверхности частиц порошка СВМПЭ. Это обеспечивает высокий уровень проводимости при очень низких значениях содержания электропроводящих наночастиц.

Было продемонстрировано, что сегрегированная структура сохраняется при упрочнении композитов деформацией в условиях однородного сдвига. При этом наполнение наночастицами любого типа не влияет на степень упрочнения СВМПЭ в ходе его деформации. В то время как проводимость для большинства композитов, модифицированных различными типами наночастиц, монотонно уменьшается с увеличением степени деформации, проводимость композитов, наполненных исключительно длинными двустенными углеродными нанотрубками, сохраняется. Показано, что упрочненные ориентированные композиты также характеризуются высокими свойствами экранирования ЭМИ, а также интересными температурными зависимостями электропроводности.

Список литературы:

[1] *Kecheh'yan, A.S.; Mikhailik, E.S.; Monakhova, K.Z.; Kurkin, T.S.; Gritsenko, O.T.; Beshenko, M.A.; Ozerin, A.N. Dokl. Chem. 449 (1), 94–97 (2013)*

Благодарности Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-13-00359.

СЕКЦИЯ 2

***ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ И
ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ***

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ПРИМЕНИМОСТЬ ПРАВИЛА БАРКЕРА ДЛЯ МИКРО- И НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Абалов И.В., Гофман И.В.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
i.abalf@yandex.ru*

Экспериментально исследована степень выполнения корреляционного соотношения между модулем упругости при одноосной деформации E и коэффициентом линейного термического расширения (КТР) α полимерных материалов, описываемого уравнением Баркера [1], применительно к ряду полимер-неорганических композитов. Работы, проводившиеся ранее с целью проверки справедливости уравнения Баркера, показали, что оно вполне адекватно описывает поведение широкого круга монокомпонентных полимерных материалов в стеклообразном состоянии.

Уравнение Баркера

$$E\alpha^2 = As,$$

где A – постоянная = 15 Н/(м²К²), s – коэффициент ($0.5 \leq s \leq 1.6$).

Полимеры и композиты соответствуют уравнению Баркера, если для них значения $E\alpha^2$ находятся в диапазоне $7.5 \leq E\alpha^2 \leq 24$ Н/(м²К²).

Представлялось интересным выяснить, насколько успешно прогностический потенциал уравнения Баркера может быть использован для оценки свойств композитов на основе ряда термопластов с повышенной теплостойкостью (полиэфирэфиркетона (ПЭЭК), полифениленсульфида (ПФС), термопластичных полиимидов различной структуры (Ultem и P-ОДФО аморфного). Определены значения E и α как для вышеперечисленных матричных полимеров, так и для композитов на их основе - микрокомпозитных материалов, наполненных угле- и стекловолокном и нанокompозитов, полученных в результате введения в расплавы тех же полимеров разнообразных наночастиц: одностенных углеродных нанотрубок (ОСУНТ), углеродных нановолокон (УНВ), наноконусов/дисков (УНК), графена и гидросиликатных нанотрубок со структурой галлуазита.

Показано, что значение $E\alpha^2$ для матричных термопластов и композитов различных типов, сформированных на их основе, находится в диапазоне $7.3 \div 15.7$ Н/(м²К²), следовательно для них выполняется корреляционное соотношение Баркера.

Это обстоятельство может быть использовано для определения одной из характеристик (в основном КТР) вновь синтезируемых полимеров и композитов на их основе, если известна другая, что может привести к уменьшению числа экспериментов.

Список литературы:

[1] *Barker Jr R.E.* Journal of Applied Physics. **34** (1), 107-116 (1963).

Благодарности

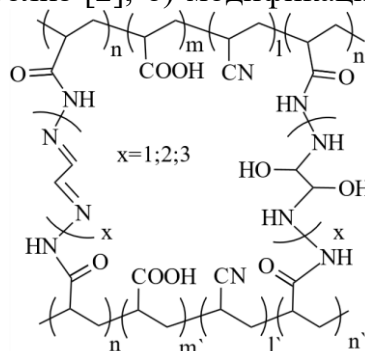
Авторы выражают благодарность сотруднику ИВС РАН Г.В. Ваганову за помощь в приготовлении нанокompозитных образцов.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ИОНООБМЕННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИАМФОЛИТНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПАН

Альхимович И.П., Байгозин Д.В.

НОЦ “ИнфоХимии” НИУ ИТМО, г. Санкт-Петербург

В работе рассмотрено компьютерное моделирование и получение ионообменных волокон на основе ПАН [1, 2] (сополимер акрилонитрила и метилакрилата 4:1) для очистки воды от ионов тяжёлых металлов [1, 3]. Для получения полиамфолита волокна модифицировались в 2 этапа: а) щелочной гидролиз [2], б) модификация нуклеофильными азотосодержащими агентами [1, 3], в том числе впервые – бис-гидразоном глиоксаля ($\text{NH}_2\text{N}=\text{CH}-\text{CH}=\text{NNH}_2$) (БГГ). Все образцы модифицировались в водных растворах при температуре 80-100 °С и рН 10-11. Справа представлена обобщённая структура полимера, модифицированного БГГ. Получено 13 образцов модифицированных волокон, из них 5 карбоксильных, 3 – сшитых гидразином и 5 – сшитых БГГ.



Для теоретического предсказания селективности волокон и выявления лучшего соотношения групп мы прибегли к методу молекулярного моделирования. Методом DFT на программном пакете ORCA (базис - *def2-TZVP*, дисперсионная поправка – *D3BJ*, гибридный функционал – *PBE0*) рассчитывалась энергия Гиббса комплексообразования из гексааквакомплексов для оценки устойчивости связывания металлов лигандами [4] в полимере. Для практической оценки ёмкости волокна обрабатывались в 0.005М растворах Cu^{2+} , Ni^{2+} и Co^{2+} (избыток) на шейкере. Адсорбция оценивалась спектрофотометрически и методом ААС. Состав волокон изучался методом ИК-спектроскопии [1,2].

Показана корреляция между результатами вычислений и измеренной адсорбционной ёмкостью волокон в большинстве случаев. Сочетание аминных, иминных и карбоксильных групп показывает лучшее связывание для отдельных катионов, что в дальнейшем будет использоваться для получения волокон с большей ёмкостью и повышенным сродством к ионам тяжёлых металлов.

Список литературы:

- [1] *Suihong Yan, Min Zhao, Genhu Lei, Yinmao Wei. J J. Appl. Polym. Sci. 125*, (2011).
- [2] *So Yeon Jin, Min Hee Kim, Young Gyu Jeong, et al. Mater. Des. 124*, (2017).
- [3] *V.S. Soldatov, A.A. Shunkevich, I.S. Elinson et al. Textil. Advanc. Appl. 124*, (1999).
- [4] *Ahmed E. Fazary, Ahmed M. Ramadan. Compl. Met. 1*, (2014).

РЕЛАКСАЦИОННЫЕ И ТЕРМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛИАМИДОИМИДА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ГИРОСИЛИКАТНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

Афанасьева Н.В., Губанова Г.Н., Смирнова В.Е., Попова Е.Н., Кононова С.В.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
afann@mail.ru*

Термостойкие полиамидоимиды (ПАИ), разнообразие свойств которых достигается за счет варьирования диаминного компонента в основной цепи макромолекулы, широко используются в качестве материалов для мембранных технологий [1]. В данной работе исследованы термические и релаксационные свойства непористых пленок, синтезированных из дихлорангидрида дикарбоксифенилфталимида и диаминодифенилсульфида (ПАИ-S). Методом ДСК показано, что полимер ПАИ-S следует рассматривать как многокомпонентную систему типа полимер-растворитель-наполнитель. Выделение связанной и несвязанной воды, растворителя N-метилпирролидона (N-МП), фиксируется в широком интервале температур от нуля до 350°C. Методом ДС показано, что диэлектрическая проницаемость (ϵ'), по которой оценивают газопроницаемость полимерных мембран для ПАИ-S, изменяется от 3,5 до 4,3. Введение гидросиликатных нанотрубок $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ (НТ) в полимерную матрицу приводит к уменьшению этого параметра в 2–2,1 раза, что может привести к увеличению газопроницаемости данного композита для CO_2 и CH_4 . Показано, что аррениусовские зависимости времен релаксации ПАИ-S линейны и, следовательно, носят локальный характер (Рис.1). При нагреве локальный процесс разделяется на два, что возможно при неоднородном удалении растворителя, образующего комплексы с различными частями макромолекулы ПАИ-S. При введении НТ в полимер локальный процесс не разделяется, вследствие изменения свободного объема.

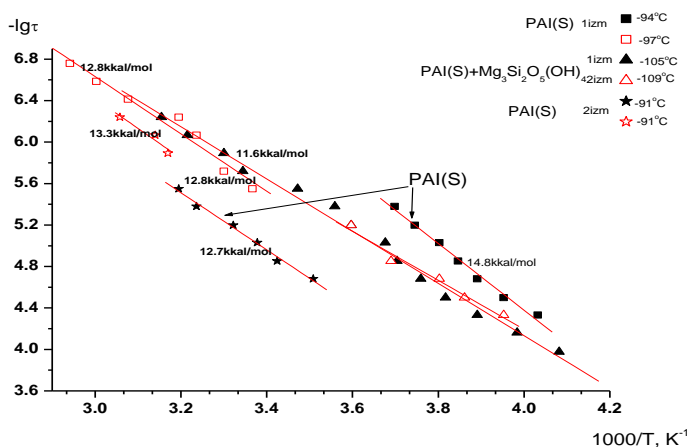


Рис.1 – Зависимость времен релаксации как функции обратной температуры для полимера ПАИ-S и композита ПАИ-S с НТ $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$

ВОЗДЕЙСТВИЕ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ НА АМОРФНЫЙ ГРЕБНЕОБРАЗНЫЙ АЗОПОЛИМЕР

Баранов А.И.^{1,2}, Будаговский И.А.¹, Лагунов В.В.¹, Золотько А.С.¹, Смаев М.П.¹,
Смирнов П.А.^{1,2}, Лазаренко П.И.², Бобровский А.Ю.³

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, г. Москва

²Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Москва, г. Зеленоград

³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва
arki_korol@mail.ru

Исследовано воздействие световых пучков различного типа и поляризации на пленки аморфного гребнеобразного полимера PMDCN4 [1], помещенные между стеклянными подложками. Температура стеклования полимера $T_g = 74$ °С, эксперименты проводили при комнатной температуре.

При облучении полимера линейно-поляризованным светом (мода TEM_{01}) наблюдали характерное для данной моды абберационное самовоздействие света [2], свидетельствующее о формировании области оптической анизотропии (Рис.1). Наводимая оптическая ось отрицательна и расположена вдоль вектора поляризации светового поля, максимальное изменения показателя преломления достигало $\Delta n \approx -0.03$.

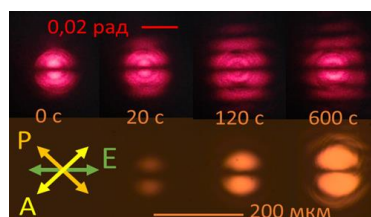


Рис. 1. – (верхний ряд) Абберационные картины светового пучка (мода TEM_{01} линейной поляризации E , $\lambda = 650$ нм, $P = 5$ мВт), после воздействия с разной экспозицией на слой (20 мкм) PMDCN4 и (нижний ряд) соответствующие изображения модифицированных областей, полученные с помощью поляризационной микроскопии. А, Р – положения анализатора и поляризатора.

С использованием моды TEM_{01} установлена локальность нелинейно-оптического отклика. Установлено, что наведенная оптическая анизотропия пропорциональна дозе облучения в диапазоне мощностей гауссова пучка (TEM_{00} , диаметр пучка 60 мкм) от 30 мкВт до десятков мВт и экспозиций от 2 мс до минут. Изучено воздействие на слой полимера цилиндрических световых пучков с различной, в том числе неоднородной, поляризацией.

Список литературы:

[1] Bobrovsky A., Shibaev V., Cigl M., Hamplová V., Novotná V. J. Polym. Sci., Part B: Polym. Phys., **57** (19), 1337 (2019).

[2] Будаговский И.А., Золотько А.С., Кузнецов А.А., Смаев М.П., Швецов С.А., Бобровский А.Ю., Бойко Н.И., Шibaев В.П. Краткие сообщения по физике ФИАН **47** (5), 36 (2020).

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-22-00427, <https://rscf.ru/project/23-22-00427/>.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОРИСТЫХ МИКРОСФЕР ИЗ СМЕСЕЙ ЧАСТИЧНО КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ С НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Баско А.В.¹, Почивалов К.В.^{1,2}

¹*Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук,
г. Иваново*

²*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
avb@isc-ras.ru*

Пористые микросферы на основе полимеров широко используются в системах контролируемого высвобождения лекарственных средств. Обычно их получают достаточно трудоемким методом двойной эмульсификации. В данной работе предложен новый способ получения таких микросфер, основанный на методе термически индуцированного фазового распада (ТИФР) малоцентрированных смесей частично кристаллических (ЧК) полимеров с плохим растворителем.

Метод ТИФР для формирования функциональных полимерных материалов был впервые предложен в 80-ые гг XX века и с тех пор широко применяется в первую очередь для получения мембран из частично кристаллических (ЧК) полимеров. В данной работе показано, что он может быть успешно применен для получения пористых микросфер двух типов. Пористые микросферы первого типа формируются в случае, если после формирования в результате ТИФР первичной эмульсии скорости массопереноса обеспечивают задаваемое термодинамикой при данной скорости охлаждения изменение концентраций компонентов в сосуществующих фазах. Такие микросферы имеют гладкую, практически монолитную поверхность и содержат поры с размерами не более нескольких сотен нанометров, возникшие в результате микрофазового распада образующегося геля ЧК полимера. Пористые микросферы второго типа формируются в том случае, если скоростей массообменных процессов будет недостаточно для поддержания задаваемых термодинамикой концентраций компонентов в сосуществующих фазах первоначально возникшей эмульсии. В этом случае в каплях богатой полимером жидкой фазы самопроизвольно реализуется еще один локальный фазовый распад и внутри этих капель образуются еще более мелкие капли бедной полимером фазы. Полученные в результате микросферы содержат кроме указанных выше наноразмерных пор, также поры с диаметром порядка нескольких микрометров. В докладе подробно обсуждается механизм структурообразования пористых микросфер, а также результаты оценки влияния концентрации полимера в исходной смеси и скорости охлаждения на морфологию получаемых материалов.

**ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ПУТЕМ
ПИРОЛИЗА ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ. СОЗДАНИЕ КОМПОЗИТОВ
ПОЛИМЕР/УГЛЕРОДНЫЕ КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ**

Бородина А.М., Костромин С.В., Бронников С.В.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
Anastasia_2998@mail.ru*

Углеродные квантовые точки (УКТ) хронологически являются последними известными представителями углеродных наночастиц. УКТ обладают рядом ценных свойств, однако их отличительной способностью является высокая настраиваемая фотолюминесценция (ФЛ) [1], что обуславливает их использование, в первую очередь, в качестве материалов в технологии органических светодиодов. Они также могут быть использованы для производства полимерных нанокомпозитов, предназначенных для использования в устройствах для хранения энергии, в суперконденсаторах, а также для экологических применений [2].

В ходе данного исследования УКТ были получены путем пиролиза лимонной кислоты (ЛК) при различных температурах и временах синтеза с целью выбора оптимальных условий синтеза. Для удаления промежуточных и побочных соединений продукты пиролиза ЛК были подвергнуты диализу с последующей лиофилизацией. Очищенные УКТ, наряду с продуктами пиролиза, были исследованы методами УФ-, ИК- Раман- и фотолюминесцентной спектроскопии, а также динамического светорассеяния. Определен квантовый выход ФЛ УКТ, равный 6,1%.

Приготовлены композитные пленки поливиниловый спирт/УКТ и бактериальная целлюлоза/УКТ с содержанием УКТ 1 масс. %. Пленки демонстрируют интенсивную ФЛ при УФ-облучении с длиной волны возбуждения 365 нм. Это означает, что УКТ равномерно диспергированы в обеих полимерных матрицах и сохраняют свои люминесцентные свойства при введении в полимеры. Полученные композиты могут быть использованы для изготовления прозрачных, гибких и люминесцентных пленок, а также для производства защищенных от подделки конфиденциальных документов и банкнот.

Список литературы:

[1] *Tran N.-A., Hien N.T., Hoang N.M., Dang H.-L.T., Huy D.Q., Quy T.V., Hanh N.T., Vu N.H., Dao V.-D. Desalination. 548, 116285 (2023).*

[2] *Hebbar A., Selvaraj R., Vinayagam R., Varadavenkatesan T., Kumar P.S., Duc P.A., Rangasam G. Chemosphere. 313, 137308 (2023).*

МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАКРОИОНОВ В ВИДЕ НАНОПОКРЫТИЙ

Ходжаева Н.К., Хаккулов Ж.М., Холмуминов А.А., Бочек А.М.*

*Физический Факультет Национального университета Узбекистана имени Мирзо
Улугбека, г. Ташкент, Республика Узбекистан*

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург, Россия*

Макромолекулярные соединения, содержащие ионогенные группы в цепях, (как макроионы) могут быть восстановлены в виде нанопокровтий на поверхности посредством электролиза. Такой электрохимический подход представляет большой интерес для развития нанотехнологии современных материалов со специальными поверхностно-активными характеристиками на основе полиэлектролитов, электролитов и их смесей. В этом особое значение имеет высокоэффективное восстановление макроионов на поверхности электрода, который послужит основой получаемого нанопокровтия. Наряду с этим важно исключение обратного процесса против восстановления, т.е. окисления, очевидного на поверхности другого электрода. Для этого целесообразно использование угольного электрода, практически не окисляющего при электролизе полиэлектролитов. С учетом этих особенностей в данной работе проводили опыты электролиза, выбрав образцы полиэлектролитов, т.е. разбавленных растворов (0,01 - 0,1 %) ионогенных биополимеров: фиброина шелка (ФС) в муравьиной кислоте, хитозана (ХЗ) в уксусной кислоте и натрий карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) в воде. В качестве электродов для восстановления биополимеров использовали титановые и медные пластинки. В ходе опытов установлено, что восстановление макроионов имеет кинетический характер и эффективно реализуется при протекании через электрическую цепь постоянного тока в интервале 1 - 10 мА. При этом повышение температуры от 20°C до 60°C положительно влияет на процесс восстановления макроионов. Образование прочной связи макроионов с поверхностью электрода в процессе восстановления во многом зависит от предварительной механической и химической обработки поверхности металлических электродов. Выявлено, что нанесение штриховых линий путем шлифовки поверхности электрода усиливает прочность связей нанопокровтий с металлической основой. Если проводить предварительный электролиз, например, много валентных ионов на поверхности электрода, то восстановление на них ионогенных биополимеров реализуется весьма эффективно. Восстановленные ионы выполняют функцию посредника для восстановления и образования прочных связей с биополимером. Результаты сравнительного РЭМ анализа показали, что полученные нанопокровтия имеют толщины от 10 до 500 нм в зависимости от длительности процесса электролиза (от 30 мин до 10 часов). Таким образом, полученные нанопокровтия на поверхности металлов, проявляют поверхностно-активные свойства из-за наличия функционально-активных ионогенных групп биополимеров.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИКАРБАМИДОВ И ПОЛИУРЕТАНОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ.

Бузин Н.В., Киселёв А.Г., Гриднев А.А., Крашенинников В.Г.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, Москва,
buzin1996_96@mail.ru*

В последнее время активно разрабатывается новый подход к производству печатных плат – структурирование поверхности с помощью лазера, для чего лазером удаляются некоторые элементы поверхности и наносятся токопроводящие электрические элементы печатной платы. Для этих целей полимер должен быть структурно прочным при комнатной температуре, но термически легко удалится под действием лазерного луча.

Как правило в исследовании термических свойств поликарбамидов и полиуретанов упор делался на увеличение термической стабильности. [1,2] И все же в некоторых работах показано, что поликарбамиды и полиуретаны способны быстро и легко разлагаться [3,4]. Были исследованы ТГА более 30 полимеров. Навески образцов составляли 5-8 мг, скорость расхода газа была 50 мл/мин. Анализ проводился при скорости нагрева 20°C /мин до температуры 900°C. В качестве модельной реакции был использован, так же, метод быстрого термического разложения (минутный нагрев при температуре 400°C), имитирующий действие лазерного луча.

В нашей работе показано, что поликарбамиды и полиуретаны на основе нелинейных диизоцианатов (изофрон диизоцианат, 1,3-бис(изоцианатометил)циклогексан) показывают наилучшие результаты термического разложения. В сочетании с алифатическими диаминами степень термического разложения почти полная. Так к примеру образцы состава N,N'-диметилэтилендиамин + 1,3-бис(изоцианатометил)циклогексан и пиперазин+изофрон диизоцианат достигают 100 % разложения при относительно невысоких температурах. На основании полученных результатов предложены поликарбамиды и полиуретаны пригодные в качестве быстро и достаточно полно термически разлагаемых лаков для использования в производстве печатных плат.

Список литературы:

- [1] *Беляков В.К.; Букин И.И.; Тараканов О.Г.; Берлин А.А.* Высокомолек. соед. **7**, 1585-99 (1971).
- [2] *Горохов В.И.; Федотова О.Я.; Коршак В.В.* Высокомолек. соед. **2**, 359-64 (1974).
- [3] *Федотова О.Я., Горохов В.И., Каретников Г.С., Коршак В.В.* Высокомолек. соед. **9**, 2144-52 (1971).
- [4] *Sakulsaknimitr W., Wirasate S., Pipatpanyanugoon K., Atorngitjawat P.* Structure and Thermal Properties of Polyurethanes Synthesized from Cardanol Diol (2015).

ВОЗМОЖНОСТЬ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА РЕЗИН НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ ПО ИХ ПИРОЛИЗАТАМ МЕТОДОМ ИКС

Грозеску А.Ю., Маслацова А.А., Агибалова Л.В., Маретина Е.Ю., Осетрова Л.В.,
Булкина А.К.

*ФГБУ «Ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт синтетического каучука имени академика С.В. Лебедева» (ФГБУ «НИИСК»), г. Санкт-Петербург
a.bulkina@fgupniisk.ru*

В связи с возросшей необходимостью импортозамещения различных изделий из резины, большой интерес представляет возможность определения содержания акрилонитрильных групп (НАК) в резинах на основе нитрильных каучуков с помощью ИК-Фурье спектроскопии (ИКС). Данный способ удобен тем, что для анализа может быть использован тот же спектр, что получается для идентификации типа каучука в резине (ГОСТ 28665-90 (ИСО 4650-84) «РЕЗИНА. Идентификация. Метод инфракрасной спектрометрии»), и не требует дополнительного оборудования, материалов и времени. В отличие от метода Кьельдаля ИКС является избирательным методом, дающим возможность определять содержание только НАК, а не общего азота (как известно, азот может входить в состав многих компонентов резин – ускорителей вулканизации, антиоксидантов, противостарителей, антипиренов и т.д.). Однако, согласно ГОСТ 28665-90 использование пиролизатов каучуков и резин для количественного анализа может быть затруднено из-за самой сути пробоподготовки, которая заключается в термическом разрушении пространственной сетки, образованной каучуком, и получении более низкомолекулярных фрагментов каучука, свободных от присутствия сажи. Оценка принципиальной возможности использования пиролизатов для количественного анализа резин на основе нитрильных каучуков была проведена с использованием следующих марок каучуков: БНКС-18 АМ, БНКС-28 АМ, БНКС- 40 АМ, БНКС-18 АМН, БНКС-28 АМН, БНКС- 40 АМН (группа предприятий Сибур) и СКН-18 СНТ, СКН-26 СНТ (Воронежский филиал ФГБУ «НИИСК»). Для каждого каучука методом ЯМР было определено содержание НАК. Затем были получены ИК спектры пиролизатов всех марок каучуков. Пиролиз проводился в атмосфере воздуха при температуре 600°C в течение 3 мин. В качестве основных аналитических полос были использованы полосы 2238см^{-1} (основная аналитическая полоса, обусловлена колебаниями нитрильных групп) и 1440 см^{-1} (внутренний стандарт, обусловлена колебаниями CH_2 групп). Градуировочный график был построен по зависимости величины относительной оптической плотности R_{st} , равной отношению D_{2238}/D_{1440} из спектров пиролизатов, от содержания нитрильных групп (в массовых процентах), определенного для исходных каучуков методом ЯМР. Коэффициент корреляции составил 0,9961, что является достаточно высоким показателем точности выбранного метода. Таким образом показано, что принципиально пиролизаты возможно использовать для количественного анализа.

СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ МЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ С ПОЛИУРЕТАНОМ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ РАСТВОРОВ СМЕСЕЙ В ДИМЕТИЛАЦЕТАМИДЕ

Буслаев Д.Л., Гофман И.В., Абалов И.В., Лаврентьев В.К., Власова Е.Н.,
Бочек А.М.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
buslaev91@gmail.com*

Целью настоящей работы являлось получение композиционных материалов на основе смесей метилцеллюлозы (МЦ) с техническим полиуретаном (ПУ) и исследование их свойств.

Показано, что введение ПУ в матрицу МЦ до 50% (мас) приводит к незначительному снижению модуля упругости E , предела пластичности σ_p , прочности σ_r и предельной деформации до разрушения ϵ_r . Следует отметить, что введение даже 50% ПУ не отражается на изменении величины прочности на разрыв ϵ_r относительно пленки чистой МЦ. Таким образом, получены композиционные пленки МЦ с содержанием до 50% ПУ, мало отличающиеся по своим механическим свойствам от пленки эфира целлюлозы.

С помощью метода рентгеновской дифракции изучена структурная организация полученных композиционных пленок. Рефлексы на рентгенодифрактограмме МЦ при угле 2θ в области $8-10^\circ$ и 21.6° относятся к плоскостям $[110]$ и $[020]$, и указывают на высокоупорядоченную структуру эфира целлюлозы [1]. В случае ПУ наблюдается только аморфное гало в области углов $2\theta \approx 18.0-20.0$ град, показывающее, что ПУ находится в аморфном состоянии [2]. По мере увеличения в смесях доли ПУ наблюдается снижение интенсивности рефлексов МЦ, указывающее на аморфизацию эфира целлюлозы. Можно полагать, что взаимодействие макромолекул МЦ с функциональными группами макромолекул ПУ приводит к замедлению процесса кристаллизации МЦ.

С целью выяснения возможных взаимодействий между функциональными группами макромолекул МЦ и ПУ были сняты ИК-спектры полученных пленок. Для МЦ характерными являются полосы поглощения свободных и связанных ОН – групп в области $3220 - 3800 \text{ см}^{-1}$, валентных колебаний С–Н, входящих в CH_3 – группы при 2817 и 2898 см^{-1} и специфичная полоса поглощения при 942 см^{-1} . В области 1100 см^{-1} наблюдается интенсивная полоса поглощения групп С–О [3]. В ИК - спектре ПУ наблюдаются полосы поглощения при 1725 см^{-1} , 1535 см^{-1} и 1220 см^{-1} [4]. Дополнительно был сделан анализ отдельного фрагмента полос поглощения в области $1700 - 1800 \text{ см}^{-1}$. В области 1725 см^{-1} частота не меняется, но меняется формы полосы. В области 1530 см^{-1} заметно небольшое смещение от 1536 см^{-1} к 1540 см^{-1} . Наибольшие изменения видны в области 1000 см^{-1} . Наблюдается смещение полосы от 1053 см^{-1} к 1058 см^{-1} и уменьшение интенсивности полосы 1030 см^{-1} .

ЗАКОНОМЕРНОСТИ 3D-ПЕЧАТИ “ЧЕРНИЛАМИ” НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСИЙ НАНОВОЛОКОН ЦЕЛЛЮЛОЗЫ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АМИНОГРУППАМИ

Воробьев В.К.¹, Просвирнина А.П.¹, Сивцов Е.В.^{1,2}, Соколова М.П.¹,
Смирнов М.А.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет), г. Санкт-Петербург
vrbvrbvrb@mail.ru*

В настоящее время ведется интенсивная разработка новых композитных материалов на основе целлюлозы для применения в различных областях электроники, медицины и мембранных технологий [1]. При этом актуальным направлением является получение материалов заданной формы с использованием аддитивных технологий. Сложность использования экструзионной 3D-печати для создания изделий из композитов целлюлозы связана с невозможностью переработки этого полимера через расплав, что обуславливает интерес к использованию дисперсий наноцеллюлозы с определенными реологическими характеристиками и возможностью сшивания после печати. Одной из главных проблем является сложность прогнозирования поведения таких дисперсий в процессе экструзии [2].

В данной работе были проведены исследования, направленные на поиск связи между реологическими характеристиками дисперсий нановолокон бактериальной целлюлозы модифицированных 3-аминопропилтриметоксисиланом в глубоком эвтектическом растворителе, параметрами 3D-печати (скорости движения сопла и давлении при экструзии) и точности печати. Исследованы реологические характеристики в статическом и динамическом режимах, а также скорость потока дисперсии через головку принтера в зависимости от давления экструзии. Полученные данные позволили установить взаимосвязь параметров печати (массовый поток при экструзии, скорость движения сопла) с толщиной получаемого филамента. Выявлены корреляционные зависимости полученных результатов изменения точности 3D-печати с реологическими характеристиками дисперсий.

Список литературы:

- [1] Li T., Chen C., Brozena A.H., Zhu J.Y., Xu L., Driemeier C., Hu, L. *Nature* **590** (7844), 47–56 (2021).
[2] Göhl J., Markstedt K., Mark A., Håkansson K., Gatenholm P., Edelvik F. *Biofabrication* **10** (3), 034105 (2018).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ грант № 21-13-00111. Исследования частично выполнены с использованием оборудования инжинирингового центра СПбГТИ(ТУ).

**РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ В
МАГНИТНОМ ПОЛЕ И В ЕГО ОТСУТСТВИИ**

Вшивков С.А., Русинова Е.В.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
sergey.vshivkov@urfu.ru

Растворы полиэлектролитов играют важную роль в технологических процессах и в природе, а также дают возможность моделирования поведения сложных биологических объектов наподобие белков и нуклеиновых кислот. В настоящее время получен большой объем экспериментальных данных для растворов полиэлектролитов различной природы: изучена структура, реологические свойства, фазовые и конформационные переходы, реакции образования полиэлектролитных комплексов. Однако практически отсутствуют данные о влиянии магнитного поля на реологические свойства растворов полиэлектролитов. Теория взаимодействия диамагнитных макромолекул с магнитным полем находится в стадии развития. Влияние поля заключается в ориентации макромолекул относительно силовых линий в направлении, зависящем от знака анизотропии диамагнитной восприимчивости макромолекул полимера. При этом известно, что на заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле, влияет также сила Лоренца $F = qvB \sin \alpha$, значение которой определяется величиной заряда (q), скоростью частицы (v), модулем вектора индукции магнитного поля (B) и углом (α) между вектором индукции магнитного поля и направлением движения. Эта сила может изменять направление движения ионов в растворах полиэлектролитов, что должно приводить к изменениям их вязкости в магнитном поле.

Целью настоящей работы явилось исследование влияния магнитного поля на вязкость систем: полиакриловая кислота–вода, полиметакриловая кислота–вода и полиметакрилат натрия – вода. Исследовали образцы ПАК с $M\eta = 2.9 \times 10^4$, ПМАК с $M\eta = 3.8 \times 10^4$ и натриевая соль ПМАК. Растворы помещали в рабочий узел реометра при 298 К, выдерживали в течение 15 мин, после чего скорость сдвига равномерно увеличивали от 0 до 15 с⁻¹ в течение 900 с. Аналогично проводили эксперименты в магнитном поле. Измерения вязкости проводили с помощью реометра Rheotest RN 4.1, в постоянном магнитном поле с напряженностью $H = 3.7$ кЭ и направлением силовых линий, перпендикулярным оси вращения ротора. При вращении металлического ротора в магнитном поле возникает тормозящий момент. В результате фиксируемое значение напряжения сдвига получается больше истинного. Истинное значение напряжения сдвига для растворов получали как разницу между измеренной величиной и величиной тормозящего момента. Обнаружено снижение вязкости растворов с увеличением скорости сдвига, обусловленное разрушением исходной структуры растворов и ориентацией макромолекул и их ассоциатов по направлению течения. Магнитное поле увеличивает вязкость растворов в 1.5-2 раза. Обсуждено влияние вкладов диамагнитной анизотропии макромолекул и степени диссоциации макромолекул на обнаруженные эффекты.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭКСТРУДИРОВАННЫХ, ОТОЖЖЕННЫХ И ПОРИСТЫХ ПЛЕНОК ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА

Герасимов Д.И., Курындин И.С., Лаврентьев В.К., Никонорова Н.А.,
Ельяшевич Г.К.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
dmitrygerasimov1997@gmail.com*

Получены экструдированные, отожженные и пористые пленки поливинилиденфторида (ПВДФ, $M_w = 190000 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$, $T_{\text{пл}} = 168^\circ\text{C}$). Определены фактор ориентации (f_c), степень кристалличности (χ) и диэлектрические свойства (ϵ' , ϵ'' и $\text{tg}\delta$) образцов в зависимости от кратности фильерной вытяжки расплава полимера при экструзии (λ), температуры отжига ($T_{\text{отж}}$) и суммарной степени одноосного растяжения (Σ) методами диэлектрической спектроскопии, широкоугольного рентгеновского рассеяния и дифференциальной сканирующей калориметрии. Показано, что увеличение ориентационных воздействий на расплав (λ) приводит к существенному повышению фактора ориентации экструдированных пленок. Рост упорядоченности упаковки цепей в кристаллической части этих образцов вызывает снижение диэлектрической проницаемости (ϵ') с ростом λ , а отжиг экструдированных образцов ведет к дальнейшему падению ϵ' в результате увеличения степени кристалличности. Снижение ϵ' с повышением структурной упорядоченности связано с затруднениями в ориентации диполей, расположенных в ПВДФ поперек молекулярных цепей, вследствие чего ϵ' для кристаллической части становится существенно ниже, чем для аморфной.

Показано, что зависимость степени кристалличности от $T_{\text{отж}}$ носит немонотонный характер с выраженным минимумом при 150°C , что обусловлено появлением молекулярной подвижности в кристаллитах ПВДФ, которое подтверждается данными динамического механического анализа. Было проведено сравнение диэлектрических спектров экструдированных и отожженных образцов, которое показало наличие дополнительного релаксационного процесса в отожженных пленках ПВДФ. На стадии одноосного растяжения отожженных образцов протекает два конкурирующих процесса: порообразование за счет раздвижения и изгиба ламелей, а также полиморфный переход от неполярной α -модификации кристаллитов к их полярной β -модификации, что существенно изменяет диэлектрическое поведение получаемых пористых пленок. Зависимости их диэлектрической проницаемости от кратности фильерной вытяжки при постоянной суммарной степени растяжения ($\Sigma=2.1$) на стадии порообразования показали значительное уменьшение ϵ' с ростом λ . Как следствие, увеличение λ приводит к нивелированию различий в диэлектрических характеристиках экструдированных, отожженных и пористых пленок. Этот результат свидетельствует о том, что при достижении определенного фактора ориентации при экструзии, дальнейшие ориентационные воздействия при растяжении не приводят к уплотнению упаковки цепей в кристаллической части пленок ПВДФ.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СОПОЛИМЕРА ГЛИЦИДИЛМЕТАКРИЛАТА И СТЕАРИЛМЕТАКРИЛАТА НА СВОБОДНУЮ ЭНЕРГИЮ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ

Григорьева Ю.Д., Коляганова О.В., Климов В.В.

*Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград
julia.grigorieva14@yandex.ru*

Многие конструкционные материалы и сплавы, функционирующие в условиях высокой влажности, подвержены коррозии, биообрастанию и обледенению. Оседание пыли на поверхности сооружений или специальных устройств требует огромных затрат на очистку, а в некоторых случаях приводит к снижению эффективности их работы [1]. Следовательно, создание покрытий с устойчивыми гидрофобными свойствами и способных к самоочищению является актуальным направлением исследований.

Алкилметакрилаты традиционно используются для гидрофобизации поверхности, так как обладают низкой поверхностной энергией [2].

Целью данной работы является изучение влияния состава сополимеров глицидилметакрилата (ГМА) и стеарилметакрилата (СМА) на свободную энергию поверхности (СЭП) полимерных покрытий на их основе.

Для расчета СЭП использовался метод ОВРК (Оуэнса–Вендта–Рабеля–Кельбла), для которого проводили измерение краевого угла смачивания тестовыми жидкостями с различным поверхностным натяжением.

Таблица 1. Начальные углы смачивания и поверхностная энергия образцов стекол, модифицированных сополимерами ГМА и СМА.

Соотношение ГМА:СМА	Краевой угол смачивания, °				Свободная энергия, мН/м	Дисперсионная составляющая, мН/м	Полярная составляющая, мН/м
	Вода	Дийодметан	Этиленгликоль	Пропиленкарбонат			
1,5:1	103±1	78±2	78±1	70±1	19,67	17,81	1,87
2:1	103±2	74±1	76±1	68±2	21,27	19,74	1,53
2,5:1	102±1	73±2	76±1	68±1	21,63	20,05	1,58
4:1	101±2	69±2	75±1	61±2	23,83	22,3	1,53
9:1	99±2	56±1	71±1	57±2	29,72	28,87	0,84

Было выявлено, что уменьшение звеньев ГМА в составе сополимера обеспечивает заметное снижение свободной энергии поверхности с 29,72 мН/м до 19,67 мН/м и увеличение углов смачивания для всех исследуемых жидкостей. Планируется дальнейшее изучение влияния состава сополимеров глицидилметакрилата и алкилметакрилатов на свободную энергию полимерных покрытий.

Список литературы: [1] *Yilbas, B.S.; Al-Sharafi, A.; Ali, H.; Al-Aqeeli, N. RSC Advances. 7, 48806 (2017).* [2] *Klimov, V.V.; Kolyaganova, O.V.; Bryuzgin, E.V.; Navrotsky, A.V.; Novakov, I.A. Polymers. 14, 1960 (2022).*

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FZUC-2023-0003 на основании соглашения № 075-03-2023-055 от 13.01.2023).

ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МОРФОЛОГИЯ МУЛЬТИСЛОЙНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА

Губанова Г.Н.¹, Петрова В.А.¹, Кононова С.В.¹, Попова Е.Н.¹, Скорик Ю.А.¹,
Клечковская В.В.²

¹*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург*

²*Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова, Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» РАН, г. Москва*
gubanovagn@yandex.ru

Способность хитозана (ХЗ) к образованию полиэлектролитных комплексов (ПЭК) с анионными полисахаридами (сульфоэтилцеллюлоза (СЭЦ), гиалуроновая (ГН), альгиновая (АЛГ)) кислоты, способствовала получению мультислойных пленок с новыми функциональными свойствами и разработке перспективных мультислойных первапорационных мембран для разделения водно-органических смесей.

В данной работе мультислойные пленки были исследованы методами термического анализа – ТГА и ДСК, в предположении, что каждый слой характеризуется индивидуальной термической стабильностью. Наиболее информативными оказались данные термического анализа бислойных пленок (содержащих слой ХЗ и ПЭК), полученных после удаления анионного слоя. Бислойная пленка, полученная из ХЗ – СЭЦ, характеризуется двумя пиками разложения при 265о и 357о С, последний из которых совпадает с пиком разложения безводного полиморфа ХЗ, полученного при гидротермальной обработке при 200оС, что позволяет отнести данный пик к разложению ПЭК в составе бислойной пленки. Для бислойной пленки, полученной из ХЗ – ГН, помимо пика от разложения ПЭК, наблюдаются два пика при 220о и 290оС, которые можно отнести к разложению двух гидратированных полиморфов ХЗ, что связано с меньшим влиянием ПЭК в данной паре. При разложении бислойной пленки, полученной из ХЗ - АЛГ, с наиболее слабым ПЭК, разложение самого ПЭК не регистрируется, наблюдается один пик разложения при 287оС. Т. о., теплофизические свойства мультислойных композитов зависят от силы взаимодействия полимерных слоев ХЗ - СЭЦ > ХЗ - ГН > ХЗ - АЛГ.

Электронно-микроскопический анализ модельных пленок на основе хитозана и сульфэтилцеллюлозы, а также хитозана и гиалуроновой кислоты позволил установить связь между структурными особенностями ПЭК и химической природой полимерных электролитов. Так, было установлено, что в пленках ХАН-ПЭК-СЭЦ толщина слоя ПЭК, связанная со скоростью его формирования, значительно превышает толщину слоя ПЭК в модельной пленке ХАН-ПЭК-ГУН. Можно предположить, что в случае электролитной пары, содержащей более слабый полианион, реализуется в слое хитозана не только его безводная форма, но также и гидратированная, что находится в хорошем соответствии не только с данными ТГА/ДСК, но и данными рентгеноструктурного анализа.

ГИДРОФОБНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ОЛИГОАЛКИЛГИДРИДСИЛОКСАНОВ

Дедов Н.А., Щукина И.А., Ильина Т.А., Костылева Е.И.

*Новомосковский институт Российского химико-технологического университета
имени Д. И. Менделеева, г. Новомосковск, Тульская область, Россия
nikita_dedov_98@mail.ru*

В работе представлены результаты использования олигометилгидридсилоксана (ГКЖ-М) и олигоэтилгидридсилоксана (ГКЖ) для гидрофобной отделки древесины, которые применяли в виде водных эмульсий, полученных с использованием ультразвукового диспергирования. Данный способ позволяет получать устойчивые системы при незначительном содержании эмульгатора, размер частиц дисперсной фазы составляет 0,5 – 1,5 мкм. Изучено влияние различных факторов на свойства полученных покрытий: применение катализатора процесса взаимодействия олигоалкилгидридсилоксанов с функциональными группами поверхности древесины, температурного режима фиксации покрытия, концентрации кремнийорганического олигомера. Испытания проводили с образцами лиственных и хвойных пород древесины: осина и сосна. Гидрофобность покрытия устанавливали, определяя угол смачивания (θ) на экспериментальных образцах. Результаты исследований свидетельствуют о получении на поверхности обрабатываемых материалов гидрофобного эффекта ($\theta > 90^\circ$). Выявлено, что концентрация олигоалкилгидридсилоксана в исследуемых составах влияет на краевой угол. Наблюдается понижение θ при уменьшении концентрации ГКЖ. Оптимальное содержание гидрофобизирующего кремнийорганического олигомера в рабочем растворе составляет 4,5-7,5 %. Отмечено, что эффективность использования ГКЖ и ГКЖ-М с различным органическим обрамлением практически одинакова. Выявлено, что для создания гидрофобного, долговечного покрытия необходимо использование γ -аминопропилтриэтоксисилана (ГМТС) - катализатора сшивки ГКЖ, ГКЖ-М с поверхностными функциональными группами древесины. Оптимальная концентрация раствора ГМТС составляет 5 %. Обработанные образцы испытывали на водостойкость, определяя водопоглощение за различные промежутки времени. Выявлено, что гидрофобная обработка в достаточной мере снижает поглощение влаги всех обработанных образцов. Привес контрольных необработанных образцов осины при воздействии водной среды в течение одного часа составляет 50%, у обработанных гидрофобизирующими составами – 8%. Таким образом, в работе представлены результаты исследований по применению олигоалкилгидридсилоксанов для гидрофобной отделки древесины различных пород, предложены составы и режимы формирования устойчивых гидрофобных покрытий.

Благодарности

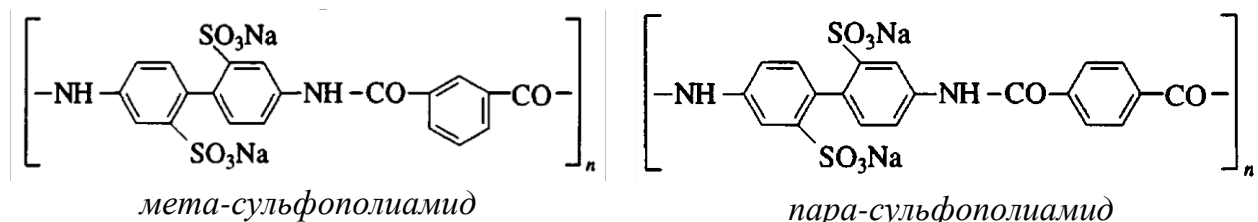
Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научного проекта лаборатории "Лаборатория ионных материалов" (ЛИМ), проект № FSSM-2021-0014.

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ МЕТА- И ПАРА- ИЗОМЕРОВ СУЛЬФАТИРОВАННЫХ ВОДОРАСТВОРИМЫХ АРОМАТИЧЕСКИХ ПОЛИАМИДОВ

Доммес О.А., Гостева А.А., Окатова О.В., Павлов Г.М.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
olga.dommes.imc@gmail.com*

Исследованы ароматические полиамиды, синтезированные поликонденсацией дихлорангидридов изо- и терефталевой кислот (мета- и пара- изомеры) с диаминами, содержащими функциональные сульфогруппы [1]:



Введение ионогенных групп в состав ароматических полиамидов придает этим полимерам повышенную гидрофильность и ионообменные свойства, сохраняя их высокую прочность, химическую стойкость и термостабильность.

Полимеры охарактеризованы в растворах 0.1M NaCl методами молекулярной гидродинамики: поступательная диффузия, скоростная седиментация, вискозиметрия при практическом подавлении полиэлектролитных эффектов. Проанализированы различия в конформационном поведении макромолекул мета- и пара- изомеров. Особое внимание уделено исследованию вязкого течения бессолевого раствора полимеров при минимальной ионной силе ($\sim 10^{-6}\text{M}$) с целью обнаружения различий в проявлении электростатических взаимодействий в мета- и пара- сульфополиамидах.

Список литературы:

[1] Федотов Ю.А., Смирнова Н.Н., Емелин Е.А., Гитис С.С., Зотова Н.И., Субботин В.А., Гитис Л.С., Грудцын Ю.Д. Высокомолекулярные соединения, серия А, **39** (7), 1206 (1997).

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность Ю.А. Федотову (АО «Полимерсинтез», Владимир) за синтез полимеров.

МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ СДГ-ПОЛИМЕР

Евдокимова А.В., Шиббаева В. Д., Агафонов А.В., Титов В.А., Краев А.С.,
Сироткин Н.А., Хлюстова А.В.

*Институт химии растворов им. Г. А. Крестова Российской академии наук,
г. Иваново
Anastasia.eudokimova@mail.ru*

Полимерные композиты являются мультифункциональными материалами, свойства которых можно менять в зависимости от поставленных задач. Использование слоистых двойных гидроксидов (СДГ) в качестве наполнителей может существенно улучшить термические и механические свойства полимеров из-за высокого соотношения поверхности к объему, что обеспечивает хорошее диспергирование наполнителя в полимерной матрице. Состав СДГ также влияет на свойства композита. В данной работе представлены результаты термических и механических испытаний композитов на основе полимеров (низкомолекулярный и высокомолекулярный поливиниловый спирт, полиакриламид, крахмал) и СДГ (Ni-Al, Zn-Al), синтезированных химическим и плазмохимическим методами. Концентрация наполнителя составляла 3%.

По данным термических экспериментов введение наполнителя в полимер может, как повысить, так и понизить значения температуры стеклования. Полученные результаты механических испытаний показали, что добавка СДГ в ПАА и крахмал значительно снижает механическую прочность композитов, что свидетельствует о том, что концентрация наполнителя либо мала, либо превышает предельное значение для данных полимеров [1,2]. Введение химически синтезированных СДГ в матрицу поливинилового спирта снижает механическую прочность, но увеличивает эластичность композита, что может быть вызвано сшивкой молекул полимера. Использование слоистых структур, полученных плазмохимическим методом, значительно улучшает механическую прочность композитов. Обсуждены причины влияния свойств наполнителя на термические и механические свойства композитов.

Список литературы:

[1] *Hu Z., Chen G. Adv. Mater.* **26**, 5950 (2014).

[2] *Sierakowski M.R., Souza G.P., Wypych F. Carbohydr. Polym.* **52**, 101 (2003).

НОВЫЙ ПОРИСТЫЙ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ ЛИТИЙ-ИОННОГО АККУМУЛЯТОРА

Ельяшевич Г.К.¹, Курындин И.С.¹, Пакальнис В.В.²

¹Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург

²Аккумуляторная компания "Ригель", г. Санкт-Петербург
elya@hq.macro.ru; pakalnis.vl.v@gmail.com

Использование литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) интенсивно расширяется в течение последних двух десятилетий. Активно развиваются области применения, в которых требуются источники энергии высокой емкости и мощности. При увеличении энергоемкости изделий на основе ЛИА особое значение приобретают вопросы безопасности при их эксплуатации. Наиболее перспективные на сегодняшний день компоненты ЛИА обеспечивают не только запасание энергии с высокой плотностью, но и способность к разрушительному выделению тепловой энергии в результате нарушения режимов эксплуатации или механических повреждений аккумуляторов. Одним из способов повышения безопасности ЛИА является совершенствование свойств входящих в его состав компонентов.

В настоящей работе проведено испытание макетных образцов ЛИА (LiCoO₂/графит, LP-40) с использованием пористой полиэтиленовой (ПЭ) пленки в качестве сепаратора. Пористые ПЭ пленки получены в ИВС РАН методом, основанным на экструзии расплава полимера [1]. Опытные макеты ЛИА изготовлены в АО «АК «Ригель».

Проведено сравнение свойств макетов аккумуляторов с ПЭ сепаратором и с промышленным аналогом (сепаратором Celgard 2400) при тестировании их в эксплуатационных режимах и в режиме внешнего короткого замыкания.

Результаты испытаний макетов ЛИА с упомянутыми выше сепараторами представлены на рисунке.

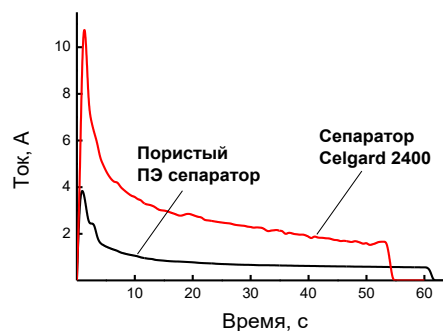


Рисунок. Кривые токов внешнего короткого замыкания от времени (емкость макета 150 мА·ч).

Полученные данные показывают, что токи короткого замыкания при использовании ПЭ сепаратора существенно ниже, чем для Celgard 2400, что обеспечивает меньшее выделение тепла и соответственно более высокую безопасность работы аккумулятора.

Список литературы:

[1] Ельяшевич Г.К., Розова Е.Ю., Карпов Е.А. Микропористая полиэтиленовая пленка и способ ее получения. Патент РФ № 2140936 (1997).

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ ДЛЯ ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Жуков В.И.¹, Москалюк О.А.^{1,2}, Федоров Г.Г.², Цобкалло Е.С.²

¹*Балтийский федеральный университет им. И.Канта, г. Калининград*

²*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-петербург
vitaily.zhukov@yandex.ru*

Появление на рынке уникальных электропроводящих наполнителей, таких как графен, углеродные нанотрубки (УНТ) и нановолокна (УНВ), дало возможность создавать полимерные композиционные материалы (ПКМ) с принципиально улучшенной электро- и теплопроводностью. ПКМ с заданным уровнем электропроводности находят применение при производстве экранирующих конструкций и материалов. Особенно актуальна проблема создания гибких, воздухопроницаемых, технологичных и дешевых материалов, обеспечивающих достаточную степень подавления электромагнитного излучения в широком диапазоне частот.

Анализ исследований [1, 2, 3] показывает, что композиты с углеродными наночастицами в виде нитей и пленок способны поглощать и отражать электромагнитные волны (ЭМВ) в диапазоне частот от 0.0003-40 ГГц. Кроме того, формирование слоистой структуры из данных материалов меняет диапазон экранирования. В связи с тем, что увлечение количества проводящего материала на единицу площади пропорционально увеличивает электропроводимость.

Сегодня экранирующий эффект в ПКМ исследуется для возможности программирования процессов рассеивания или поглощения электромагнитных волн в заданном диапазоне частот. При проектировании экранов электромагнитного излучения на основе углеродсодержащих ПКМ ставятся задачи не только эффективности подавления сигналов определенного частотного диапазона, но и уменьшения массогабаритных характеристик конструкций, упрощения технологического процесса производства.

Список литературы:

[1] *Yuksekk M. J. Engin. Fiber. Fabr. (2020).*

[2] *Ramírez-Herrera CA, Gonzalez H, Torre F, et al. Nanomaterials; 9, 1–19 (2019).*

[3] *Лебедева Е.А., Астафьева С.А., Корнилицина Е.В., Трухинов Д.К., Истомина Т.С., Князев Н.С., Малкин А.И., Чечеткин В.А., Коротков А.Н. Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения. г. Нальчик (2023), ст.241.*

Благодарности

Данное исследование было поддержано из средств программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» БФУ им. И. Канта

ЗАВИСИМОСТЬ ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ОТ ТИПА ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ

Завидов О.В., Ревенков А.Р., Климов В.В., Гайдадин А.Н. Навроцкий А.В.

*Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград
z0139@vk.com*

Повышение ионной проводимости является целью большинства исследований, посвящённых твердым полимерным электролитам, позволяющим создать более безопасные и энергоёмкие металл-ионные аккумуляторы [1]. Среди существующих способов повышения ионной проводимости наиболее актуален метод создания полимерных композитов. Ранее в [2] нами было показано, что для системы поливинилиденфторид (ПВДФ) и гидрированный бутадиен-нитрильный каучук (ГБНК) с солью литий бис(трифторметансульфонил)имид (LiTFSI) наибольшая ионная проводимость наблюдается при соотношении полимеров 1:1. В данной работе исследовали влияние полиметилметакрилата (ПММА), полипропилен карбоната (ППК), полиэтиленоксида (ПЭО), сополимера поливинилиденфторида с гексафторпропиленом (ПВДФ-ГПФ), поливинилового спирта (ПВС), хлорсульфированного полиэтилена (ХСПЭ) на ионную проводимость твёрдых полимерных электролитов (ТПЭ).

Образцы готовили методом полива из раствора, сушку проводили в следующих условиях: 4 часа при 25 °С и 16 часов в термошкафу при 70 °С. Ионную проводимость композитов определяли по данным импедансной спектроскопии в ячейке со стальными электродами при температуре 25 °С. Количество остаточного растворителя определяли методом термогравиметрического анализа, диссоциацию соли подтверждали методом рентгеноструктурного анализа.

В ряду монополимерных ТПЭ на основе ПВДФ, ПММА, ППК, ПЭО, ПВДФ-ГПФ, ПВС, ХСПЭ, ГБНК, наполненных 50 масс.% соли лития, наблюдается снижение ионной проводимости. В смесевых полимерных матрицах на основе ПВДФ с перечисленными полимерами синергетический эффект проявляется при соотношении полимеров 1:1 с полимерами, содержащими карбонатные и нитрильные группы; при избытке ПВДФ 3:1 для полимеров с акрилатными и эфирными группами. Можно сделать вывод, что использование поливинилиденфторида является предпочтительным в монополимерных плёнках, а использование смесевых композиций позволяет получить электролиты с повышенной ионной проводимостью.

Список литературы:

[1] *Dautzenberg H., Mindemark J., Lacey M., Bowden T., Brandell D. Progress in Polymer Science. 81, 114–143 (2018).*

[2] *Завидов О.В., Иванов И.Д., Климов В.В., Гайдадин А.Н. Актуальные проблемы науки о полимерах III Всероссийская научная конференция (с международным участием) преподавателей и студентов вузов. КНИТУ, (2023). 3, 177.*

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FZUC-2023-0003 на основании соглашения № 075-03-2023-055 от 13.01.2023).

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА АМФИФИЛЬНЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА И БЕНЗИЛМЕТАКРИЛАТА В РАСТВОРАХ И НА РАЗЛИЧНЫХ МЕЖФАЗНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Зеленцов М.Д.¹, Симонова М.А.¹, Ромашева М.М.¹,
Филиппов А.П.², Замышляева О.Г.²

¹Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

²Нижегородский Государственный университет им. Н.И. Лобачевского,

г. Нижний Новгород

mariasimonova1983@mail.ru

Получены новые линейные амфифильные блок-сополимеры на основе n-изопропилакриламида и бензилметакрилата (фторированного и не фторированного) ПНИПАМ-Ge(C₆F₅)₂-ПБМА(Ф) и ПНИПАМ-Ge(C₆F₅)₂-ПБМА с высокими выходами (89-94%). Структура этих полимеров была подтверждена методами ИК- и ЯМР-спектроскопии (Рисунок 1). Свойства данных полимеров в растворах были изучены с помощью методов ГПХ, молекулярной гидродинамики и оптики.

Целями данной работы являются синтез, характеристика анализ возможность образования тонких и стабильных монослоев Ленгмюра-Блоджетт на границе раздела вода-воздух и установление ориентации макромолекул в тонких пленках. Было обнаружено, что эти блок-сополимеры способны формировать стабильные монослои Ленгмюра при высоких поверхностных давлениях (50-58 мН/м). Пленки Ленгмюра-Блоджетт, полученные из данных блок-сополимеров, проявляют гидрофильные свойства с углами смачивания водой в диапазоне 68-73°C. Для обоих типов образцов (фторированных и нефторированных) в разбавленных растворах наблюдаются только макромолекулы. Поведение нефторированного образца описывается как клубок в хорошем растворителе, в то время как фторированный образец проявляет себя как структура с повышенной внутримолекулярной плотностью, что связано с присутствием фтора в структуре полимера.

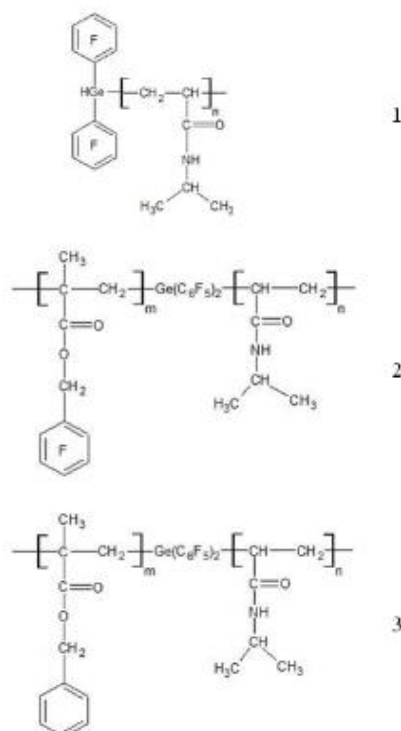


Рисунок 1. Структуры ПНИПАМ-Ge(C₆F₅)₂, ПНИПАМ-Ge(C₆F₅)₂-ПБМА(Ф) и ПНИПАМ-Ge(C₆F₅)₂-ПБМА.

ОТВЕРЖДЕНИЕ ПОЛИПРОПИЛЕНГЛИКОЛЬФУМАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИМИЗИРОВАННОЙ ИНИЦИИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ «ХОЛОДНОГО» ОТВЕРЖДЕНИЯ

Ибраева Ж.М.¹, Ковалева А.К.¹, Буркеева Г.К.¹

¹*Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова,
г. Караганда
zhansaya.ibraieva@mail.ru*

С увеличением темпов строительства большое значение приобрели герметики и клеи, полученные на основе полимерных матриц путем добавления в них различных наполнителей и пр. [1]. Одними из самых перспективных сореагентов для получения полимерных матриц являются ненасыщенные полиэфирные различного состава, отверждаемые виниловыми мономерами с образованием полимерной сетки, обладающей оптимальными механическими свойствами [2]. Цель работы: исследование физико-химических свойств исходных растворов полипропиленгликольфумарата (п-ПГФ) с метакриловой кислотой (МАК) и определение технологических параметров их отверждения (время жизнеспособности и отверждения, объемная усадка). В связи с этим проведена реакция радикальной сополимеризации исходных растворов п-ПГФ-МАК при различных массовых соотношениях сореагентов при 293К в присутствии иницирующей системы «холодного» отверждения оптимизированного состава: ПБ – 1% и ДМА – 0,2% (от массы исходных отверждаемых растворов). Установлено, что с увеличением содержания п-ПГФ (от ~30 мас.% до ~45 мас.%) в смеси возрастает значение плотности отвержденного продукта, увеличивается время желатинизации (жизнеспособности) и отверждения раствора (варьируется в пределах 25–30 минут). Также динамическая вязкость зависит от плотности растворов, в частности, наибольший показатель динамической вязкости раствора п-ПГФ-МАК (45,14:54,86 мас.%) составил 213,7 мПа·с, что соответствует минимальной скорости отверждения. Общая объемная усадка растворов п-ПГФ в МАК при отверждении равна ~10% [3]. Полученные продукты в дальнейшем могут найти применение в качестве полимерной основы для получения наполненных герметизирующих композиционных материалов.

Список литературы:

- [1] *Lubis, M.A.R., Sari, F.P., Laksana, R.P.B., Fatriasari, W., Hermiati, E. Polymer Bulletin. 79(8), 6745–6757, (2006).*
- [2] *Буркеев М.Ж., Тажбаев Е.М., Буркеева Г.К. Ненасыщенные полиэфирные смолы в реакциях радикальной сополимеризации. Караганда. NRIC «Parasat–M», (2016).*
- [3] *Cotun, J. Handbook of Adhesives and Sealants. 2, 1–50, (2006).*

Благодарности

Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования Министерства науки и высшего образования РК № BR10965249 «Разработка новых герметиков и клеев на основе ненасыщенных полиэфирных смол для нужд строительной и оборонных отраслей».

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДА Р-ДАДФЭ

Иванькова Е.М.¹, Ваганов Г.В.¹, Диденко А.Л.¹, Касаткин И.А.², Попова Е.Н.¹,
Юдин В.Е.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург
ivelen@mail.ru*

Важным преимуществом кристаллизующихся полиимидов является повышение их теплостойкости, т.е. предельной температуры эксплуатации, которая будет определяться уже не температурой стеклования, как в аморфных полимерах, а температурой плавления, которая существенно выше. Одним из таких полиимидов является Р-ДАДФЭ, синтезированный в ИВС РАН и состоящий из резорцинового диангирида Р и диамина ДАДФЭ (поли- {4,4'-бис (фтальимидо- [4,4'-N] дифенилоксид] имид 1,3 - бис (3',4'-дикарбоксифенокси) бензол}). Полиамидокислота Р-ДАДФЭ, полученная в результате синтеза, подвергалась химической имидизации.

В ходе данной работы методом экструзии из расплава были получены термостойкие волокна на основе частично-кристаллического термопластичного полиимида Р-ДАДФЭ. С целью модификации механических свойств, полиимидные волокна подвергали высокотемпературной ориентационной вытяжке до различных степеней с использованием установки, разработанной в ИВС РАН.

Методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) было исследовано морфологическое строение как насцентного порошка Р-ДАДФЭ, так и полученных из него волокон. Метод большеуглового рентеновского рассеяния показал, что синтезированный полимер способен кристаллизоваться, причем ориентация кристаллитов меняется в зависимости от степени ориентационной вытяжки волокна. Метод ДСК был использован с целью исследования теплофизических свойств полученных из расплава волокон на основе Р-ДАДФЭ. Кроме того, были исследованы механические свойства (прочность на растяжение, модуль упругости и деформация до разрушения) полиимидных волокон с разными степенями вытяжки как в аморфном, так и в закристаллизованном состоянии.

МОДИФИКАТОРЫ ДЛЯ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ И РЕЗИН

Ильина Т.А., Щукина И.А., Дедов Н.А., Костылева Е.И.

*Новомосковский институт Российского химико-технологического университета
имени Д. И. Менделеева, г. Новомосковск, Тульская область, Россия
ilyina.taisiya@gmail.com*

Известно, что полиорганосилоксаны и композиционные материалы на их основе широко используются в качестве теплоносителей, демпферных жидкостей, огнестойких керамообразующих материалов. Поэтому актуальной задачей на данный момент является увеличение срока службы данных материалов за счёт подавления окислительных процессов, которые могут происходить в них при высоких температурах. Термоокислительная деструкция полиорганосилоксанов имеет радикальный механизм. Для ее ингибирования возможно использовать металлы высоких степеней окисления с большим координационным числом. Поэтому в работе изучен синтез и введение в полиорганосилоксаны кремнийорганических термостабилизаторов, содержащих хелатные комплексы титана (IV), циркония (IV), гафния (IV), ванадия (IV), с целью увеличения термостабильности и диэлектрических характеристик силиконовых жидкостей и компаундов. В работе синтезированы ацетилацетонаты титана (IV), циркония (IV), гафния (IV), ванадия (IV). На их основе получены растворимые в силиконовых жидкостях и резинах полиметаллоорганосилоксаны (МОС) реакцией гидросилилирования с α, ω – дигидроолигодиметилсилоксаном. Полученные МОС были испытаны в качестве термостабилизаторов полидиметилсилоксановой жидкости типа ПМС, а также наполненных композиций на основе дивинилсилоксанового каучука (ДВК). Термостабильность определяли при 300 °С по времени начала гелеобразования. Установлено, что начало термоокислительной деструкции ПМС в значительной степени определяется природой металла. Время гелеобразования изменяется от 0.25 до 90 ч. Добавка МОС в ДВК увеличивает время гелеобразования с 0.25 до 54 ч. Выявлено, что наиболее эффективными являются соединения гафния и ванадия. Помимо этого, у силиконовых вулканизатов повышается стойкость к процессам термоокислительной деструкции, после длительного температурного воздействия образцы резин сохраняют удовлетворительные физико-механические показатели. Жидкости типа ПМС с добавками МОС, обладают высокими диэлектрическими характеристиками и в температурном интервале от 25 до 270 °С. Полученные наполненные силиконовые вулканизаты могут быть использованы в качестве термостойкой кабельной изоляции, высокотемпературных герметиков, а кремнийорганические жидкости, как аналог минеральных масел для силовых трансформаторов.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научного проекта лаборатории "Лаборатория ионных материалов" (ЛИМ), проект № FSSM-2021-0014.

АКТИВАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА ДЛЯ ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Камалов А.М.^{1,2}, Смирнова Н.В.¹, Диденко А.Л.¹, Соколова М.П.¹, Колбе К.А.¹,
Иванов А.Г.¹, Борисова М.Э.², Юдин В.Е.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург
spb.kamalov@gmail.com*

Полимеры используются в биоинженерии для широкого спектра применений, как субстраты для культуры клеток *in vitro* и как каркасы для тканевой инженерии *in vivo*. Как правило, поверхность полимерной пленки неполярная, обладающей низкой биосовместимостью, поэтому необходимо использовать модификацию поверхности для повышения биосовместимости. Одним из методов активации поверхности полимерных пленок является воздействие плазмы барьерного разряда [1] высокой частоты при атмосферном давлении. В настоящее время неизвестно, что влияет первостепенно на адгезию и пролиферацию фибробластов на полимерной пленке. В литературе отмечено, что большое влияние на пролиферацию фибробластов оказывает свободная поверхностная энергия (угол смачивания) [2], электропроводность, микрорельеф и механические свойства [3] пленки. Большинство полимерных материалов гидрофобны, что ограничивает взаимодействие культуры и пленки. Плазменная обработка изменяет поверхностную энергию полимера и, как следствие, приводит к улучшению гидрофильности и адгезии поверхности.

В данной работе представлены результаты модификации поверхности полиимида, полилактида и хитозана с помощью плазмы диэлектрического барьерного разряда (ДБР) с целью повышения пролиферативной активности человеческих фибробластов. Установлено оптимальное время воздействия ДБР для каждого полимера. Приведены зависимости шероховатости пленок от времени воздействия ДБР. Определена свободная поверхностная энергия от времени обработки в ДБР.

Список литературы:

[1] *Astoreca L., Cools P., Schaubroeck D., Asadian M., Aliakbarshirazi S., Declercq H., Op de Beeck M., Morent R., De Smet H and De Geyter N.* Non-thermal plasma activation of BPDA-PPD polyimide for improved cell-material interaction *Polymer (Guildf)*. 205 (2020)

[2] *Alexander MR, Williams P.* Water contact angle is not a good predictor of biological responses to materials. *Biointerphases*. 12(2):02C201 (2017)

[3] *Smirnova N.V., Kolbe K.A., Dresvyanina E.N., Dobrovolskaya I.P., Yudin V.E.* Optimization of Mechanical Properties and Bioactivity of Composite Matrices Based on Chitosan and Chitin Nanofibril for Tissue Engineering *Cell tissue biol*. 13 (2019)

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ МК-4346.2022.4

НОВЫЕ ПЕРВАПОРАЦИОННЫЕ МЕМБРАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ КОМПОЗИТОВ ПОЛИЭФИРБЛОКАМИД/МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКАЯ КАРКАСНАЯ СТРУКТУРА

Карякина А.С., Кузьминова А.И., Дубовенко Р.Р., Дмитренко М.Е., Пенькова А.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,
г. Санкт-Петербург
st110579@student.spbu.ru*

В последнее время мембранные технологии широко применяются в процессах водоочистки как высокоэффективные, экологичные и ресурсосберегающие методы. Одним из наиболее перспективных мембранных процессов является первапорация, экологически безопасный метод, в котором разделение жидких веществ происходит в процессе их испарения через мембрану. Первапорация позволяет разделять азеотропные смеси, а также смеси близкипящих и термически неустойчивых веществ с использованием компактного модульного оборудования при низких энергетических затратах. Для осуществления более совершенной водоочистки с применением мембранных методов требуются улучшенные материалы и высокоэффективные мембраны на основе их. К одним из актуальных подходов к улучшению транспортных свойств мембран относят их модификацию. Использование полиэфирблокамида (ПЭБА) в качестве мембранного материала обусловлено возможностью варьирования соотношения блоков, что позволяет получить полимеры и, соответственно, полимерные мембраны с различными свойствами.

В настоящей работе были разработаны мембраны на основе полиэфирблокамида (ПЭБА), модифицированные металлоорганическими каркасными структурами (МОФ). В качестве модификаторов были использованы три металлоорганических каркасных структуры (бензол-1,3,5-трикарбоновая кислота (МОФ-1), бензол-1,2-дикарбоновая кислота (МОФ-2), бензол-1,4-дикарбоновая кислота (МОФ-3)). Транспортные свойства разработанных мембран были исследованы в процессе первапорационного разделения смеси изопропиловый спирт/вода (5/95 масс. %). Состав исходной смеси и пермеата определялся газохроматографическим методом. Для разработанных мембран было отмечено положительное влияние вводимой модифицирующей добавки на транспортные характеристики, что было связано с пористой структурой и гидрофильными/гидрофобными свойствами МОФ.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00473, <https://rscf.ru/project/23-29-00473/>. Экспериментальная часть проводилась при участии ресурсных центров: Междисциплинарный ресурсный центр по направлению «Нанотехнологии», Термогравиметрические и калориметрические методы исследования, Криогенный отдел, Геомодель, Магнитно-резонансные методы исследования, Инновационные технологии композитных наноматериалов, Рентгенодифракционные методы исследования, Методы анализа состава вещества, Вычислительный центр СПбГУ, Физические методы исследования поверхности, Наноконструирование фотоактивных материалов Санкт-Петербургского Государственного Университета.

ПРОЦЕССЫ САМООРГАНИЗАЦИИ В ВОДНО-СОЛЕВЫХ РАСТВОРАХ ЗВЕЗДООБРАЗНЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИ-2- АЛКИЛ-2-ОКСАЗИНОВ

Кирилл Т.Ю., Козина Н.Д., Смирнова А.В., Родченко С.В., Теньковцев А.В.,
Филиппов А.П.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
tatyana_pux@mail.ru*

В данной работе проанализировано поведение водных и водно-солевых растворов звездообразных шестилучевых блок-сополимеров поли-2-изопропил-2-оксазина и поли-2-этил-2-оксазина с гексаазоциклофановым ядром (Рис. 1). Образцы различались порядком присоединения блоков к ядру. Молекулярно-массовые и гидродинамические характеристики исследованных полимерных звезд определены методами светорассеяния, вискозиметрии и рефрактометрии в хлороформе. Процессы самоорганизации в водных и водно-солевых растворах изучались методами статического и динамического светорассеяния и турбидиметрии при вариации концентрации полимеров и соли (NaCl). Были получены характеристики фазового расслоения, в частности температуры начала и окончания фазового расслоения.

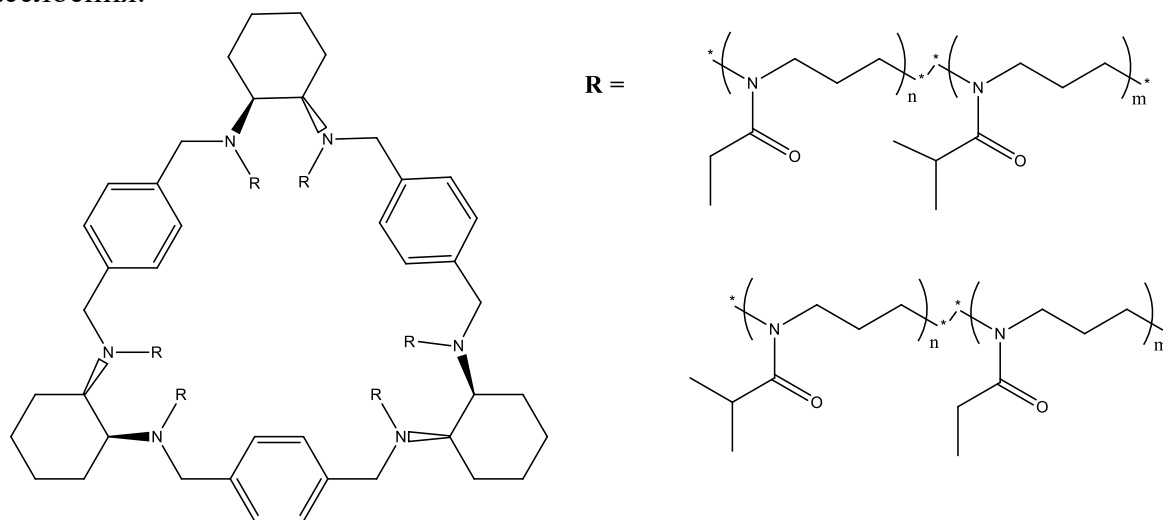


Рис. 1. Структурные формулы звездообразных блок-сополимеров поли-2-алкил-2-оксазинов.

Показано, что порядок присоединения блоков влияет на набор рассеивающих частиц, присутствующих в растворах, что обусловлено разной степенью гидрофильности внешнего блока в звездообразном полимере. При добавлении соли для обоих полимеров зафиксировано снижение температур фазового разделения.

Благодарности

Работы выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 23-13-00205)

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО ИМПРИНТИНГА ДЛЯ СОЗДАНИЯ СОРБЕНТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОЙ СОРБЦИИ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Кондауров Р.Г.¹, Мельников Е.А.¹, Агибаева Л.Э.²

¹ТОО «Международный инженерно-технологический университет»,

г. Алматы, Республика Казахстан

²НАО «Казахский национальный университет им. аль-Фараби»,

г. Алматы, Республика Казахстан

r-kondaurov@mail.ru

Разработаны полимеры с молекулярными отпечатками (ПМО) на основе функциональных мономеров метакриловой кислоты и 4-винилпиридина двух типов (в качестве сшивающего агента в первом типе применялся этиленгликольдиметакрилат (ПМО1), во втором – диэтиленгликольдиметакрилат (ПМО2)), «шаблоны» - ионы золота и серебра. На рисунке 1 представлены данные по селективной сорбции золота (а) и серебра (б) при селективном извлечении данных металлов на протяжении 48 часов из модельного раствора, содержащего оба металла, структурами ПМО1-Au, ПМО2-Au, ПМО1-Ag, ПМО2-Ag. В обоих случаях наблюдается лишь сорбция того металла, который был использован в качестве «шаблона». Преимущество ПМО – абсолютное исключение попутной сорбции сопутствующих компонентов. Различие значений степени извлечения Au и Ag при их сорбции структурами ПМО1, ПМО2 заключается в том, что при их синтезе были использованы различные сшивающие агенты. Происходит так называемое «затруднение» распознавания «шаблона» на молекулярном уровне вследствие более плотной сшивки в случае структур ПМО2-Au и ПМО2-Ag.

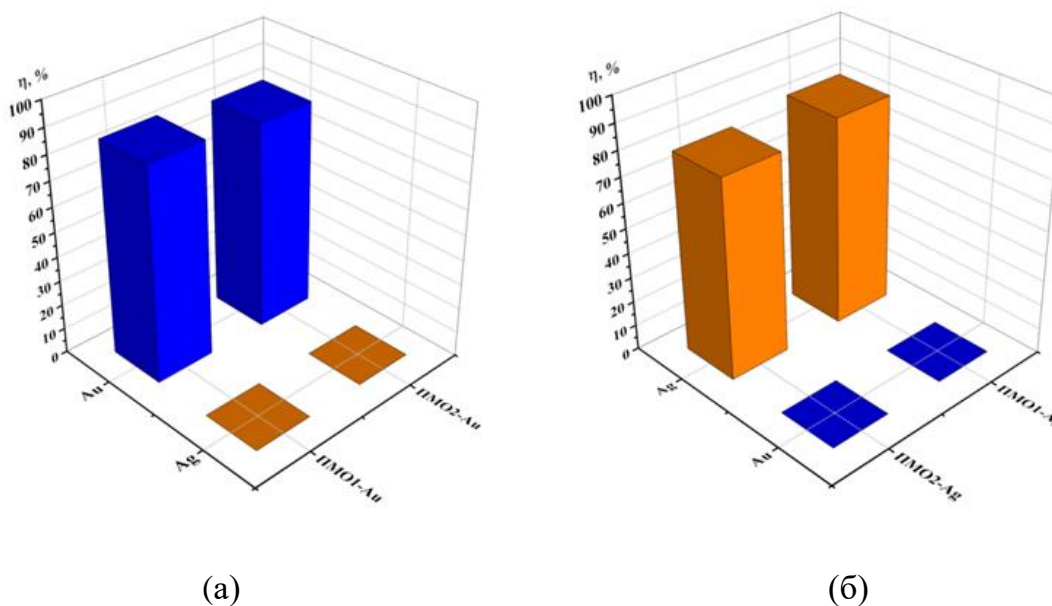


Рис. 1 – Селективная сорбция ионов Au и Ag структурами ПМО1-Au, ПМО2-Au (а) и ПМО1-Ag, ПМО2-Ag (б)

САМОЗАЛЕЧИВАЮЩИЕСЯ ГИБКИЕ РЕДОКС-АКТИВНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ФЕРРОЦЕНИЛСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИСИЛОКСАНОВ

Кочева А.Н., Дерябин К.В., Рашевский А.А., Исламова Р.М.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Химии,
г. Санкт-Петербург
kocheva-nastya@mail.ru*

Известные ферроценилсодержащие силиконовые материалы обладают редокс-активностью и электропроводностью на уровне антистатиков [1]. Однако они не способны самозалечиваться из-за наличия необратимых сшивок [1], что значительно сокращает область их применения. Разработка новых самозалечивающихся ферроценилсодержащих силиконовых резин (ФСР) является перспективным направлением исследований, расширяющим возможности их практического применения в качестве защитных покрытий. Одним из вариантов формирования обратимых сшивок является *силоксановое равновесие* — обратимые реакции между «живыми» анионными центрами и цепями полисилоксана [2].

В связи с этим был разработан новый метод синтеза ФСР с различным содержанием (2-ферроценилэтил)метилсилоксановых звеньев (25 и 50 мол.%) путём анионной сополимеризации циклического октаметилциклотетрасилоксана (D₄) и циклического тетраферроценилзамещённого 1,3,5,7-тетраметилтетрасилоксана (Fc₄D₄) с бициклическим сшивающим агентом (*бис*-D₄) [3]. Для ФСР оптимальная концентрация сшивающего агента составила 5 мас.%, а оптимальное содержание (2-ферроценилэтил)метилсилоксановых звеньев — 25 мол.%. В случае ФСР предел прочности при растяжении достигает 0.1 МПа, относительное удлинение при разрыве — 215 %. ФСР обладают как самозалечиванием при комнатной и повышенной температуре (100 °С), так и редокс-активностью (превращения Fc/Fc⁺ при $E^0 = 0.43$ В) и электропроводностью на уровне антистатиков (около 10⁻¹⁰–10⁻¹¹ См·см⁻¹).

Список литературы:

[1] *Deriabin K.V., Islamova R.M. Polym. Sci. Ser. C. 64* (2), 95–109 (2022).

[2] *Zheng P., McCarthy T.J. J. Am. Chem. Soc. 134* (4), 2024–2027 (2012).

[3] *Rashevskii A.A., Deriabin K.V., Parshina E.K., Islamova R.M. Coatings. 13* (7), 1282 (2023).

Благодарности

Исследовательская работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 23-23-00103) с использованием оборудования ресурсных центров СПбГУ («Магнитно-резонансные методы исследования», «Методы анализа состава вещества», «Инновационные технологии композитных наноматериалов» и «Термогравиметрические и калориметрические методы исследования»).

**ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПРИВИТОГО СОПОЛИМЕРА
КАРБОКСИМЕТИЛПУЛЛУЛАНА С БОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ –
СОПОЛИМЕРМИ N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА И
МЕТАКРИЛАМИДА**

Красова А.С., Тарабукина Е.Б., Филиппов А.П.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург, Россия
krasova_anna@bk.ru*

Привитые сополимеры с основными цепями полисахаридов, таких как альгинат, пуллулан, бактериальная целлюлоза, хитозан, и боковыми цепями N-изопропилакриламида (НИПААм) могут быть использованы для адресной доставки лекарственных веществ (ЛВ). Основная цепь полисахарида обеспечивает водорастворимость, биосовместимость, биodeградируемость, а звенья НИПААм могут придать сополимеру термочувствительность.

Методами молекулярной гидродинамики, светорассеяния и турбидиметрии изучена термочувствительность сополимеров НИПААм с метакриламидом, привитых на макромолекулу карбоксиметилпуллулана. Измерены интенсивность рассеянного света, оптическое пропускание, гидродинамические радиусы и состав рассеивающих частиц при нагревании растворов. Эксперименты проводили в широкой области концентраций и рН. На основе полученных температурных зависимостей указанных параметров определены температуры T_{cp} фазового разделения. Температура начала фазового перехода оказалась не зависящей от концентрации в диапазоне (0.07-0.56) г/100 см³, составляя $T_{cp} = (40 \pm 1)$ °С. Однако, с разбавлением растворов в указанном диапазоне температурный интервал фазового разделения увеличивается в три раза. В сильнощелочных растворах при $pH \geq 11.3$ наблюдается уменьшение T_{cp} до 38-39 °С.

Показано интенсивное формирование агрегатов в растворе в области температур фазового разделения. Проведен анализ времени, необходимого для установления равновесных параметров в растворах после скачкообразного изменения температуры, в зависимости от температуры, концентрации и рН.

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИИМИДНЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ СО СВЕРХНИЗКОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ

Камалов А.М.^{1,2}, Крафт В.Е.², Ваганов Г.В.¹, Нестерова А.С.¹, Борисова М.Э.²,
Иванькова Е.М.¹, Юдин В.Е.¹

¹Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург
kraft.ve@edu.spbstu.ru

В современных интегральных схемах необходимы материалы с низкой диэлектрической проницаемостью ϵ для уменьшения задержки резистивной емкости и минимизации перекрестных помех. Для изготовления гибких печатных плат используется полиимид (ПИ) из-за его высоких механических и термостойких свойств. Создание композитов на основе ПИ с низким ϵ - актуальная задача в области высокочастотной и высокоскоростной передачи сигналов.

В данной работе исследуется нетканый ПИ материал, полученный методом электроформования (ЭФ) [1,2] из водных растворов солей полиамидокислоты (ПАК) на основе пиромеллитового диангирида (ПМ) и 4,4'-оксидифенилендиамин (ДАДФЭ) [3].

Целью работы является получение и исследование диэлектрических и механических свойств ПИ нетканых полотен, полученных методом ЭФ.

Было установлено, что наиболее подходящим для ЭФ является 12% раствор (12% соли ПАК и 88% растворителя), растворитель состоит из 30% H₂O и 70% этилового спирта. Процесс ЭФ выполнялся в установке NANON-01 Ver. 1.33 MECC Co., Ltd. 2010.

Диэлектрические спектры получали на диэлектрическом спектрометре "Concept-21" ("Novocontrol Technologies GmbH") с частотным анализатором ALPHA-ANB. Для оценки температур релаксационных переходов нетканых ПИ материалов были измерены температурные зависимости динамического модуля упругости (E') и тангенса угла механических потерь ($\tan \delta$). Измерения проводились на установке динамического механического анализа (ДМА) DMA 242 C (NETZSCH, Германия). Получен нетканый ПИ материал ПМ-ДАДФЭ с $\epsilon' = 1,5$ и низким $\tan \delta$, что позволит расширить применение ПИ в современных интегральных схемах.

Список литературы:

[1] Матвеев А.Т., Афанасов И.М. Получение нановолокон методом электроформования. Москва, МГУ, (2010).

[2] Филатов Ю.Н. Электроформование волокнистых материалов. Москва, 2001.

[3] Светличный В. М., Мяжкова Л. А., Суханова Т. Е., Иванькова Е. М., Ваганов Г. В. Высокомолек. соед. **62**, 83-95 (2020).

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта РНФ (проект № 23-79-01112)

ТЕРМОДИНАМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛИДИАЛЛИЛДИМЕТИЛАММОНИЙ ХЛОРИДА С ПОЛИАКРИЛОВОЙ И ПОЛИМЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТАМИ

Кузнецова Е.Д.¹, Сафронов А.П.^{1,2}, Адамова Л.В.¹

¹Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

²Институт электрофизики уральского отделения Российской академии наук,
г. Екатеринбург

kuznetsova.ekaterina@urfu.ru

Полидиаллилдиметиламмоний хлорид (ПДАДМАХ) является водорастворимым полимером, широко используемым в промышленности, медицине и биотехнологии. ПДАДМАХ проявляет свойства катионного полиэлектролита и способен образовывать поликомплексы с полианионами, в частности, с полиакриловой ПАК и полиметакриловой кислотами ПМАК. Целью настоящей работы являлось исследование термодинамических параметров взаимодействия ПДАДМАХ с ПАК и ПМАК.

Изучена равновесная изотермическая сорбция паров воды бинарными полимерными смесями ПДАДМАХ/ПАК и ПДАДМАХ/ПМАК во всем диапазоне соотношения компонентов с использованием автоматического сорбтометра ASAP 2020 (Micromeritics). С помощью микрокалориметра типа Тиана-Кальве измерены энтальпии растворения бинарных смесей полимеров в воде.

Обнаружено, что с увеличением содержания поликислот сорбционная способность бинарных полимерных смесей ПДАДМАХ/ПАК и ПДАДМАХ/ПМАК закономерно уменьшается. Энергии Гиббса растворения ПДАДМАХ, ПАК, ПМАК и их смесей в воде отрицательны во всей исследованной области составов, что свидетельствует об образовании термодинамически устойчивых растворов. Растворение смесей ПДАДМАХ–ПАК и ПДАДМАХ–ПМАК в воде сопровождалось экзотермическим тепловым эффектом. С использованием термодинамического цикла рассчитаны значения средней удельной энергии Гиббса, энтальпии и энтропии смешения полимеров друг с другом. Показано, что смешение ПДАДМАХ как с ПАК, так и с ПМАК сопровождается отрицательными значениями энергии Гиббса. Для обеих систем смешение компонентов сопровождается сильным экзотермическим эффектом. Для системы ПДАДМАХ–ПАК величина энтропийного вклада положительна во всей области составов. Положительные значения энтропии указывают на преобладание процессов разупорядочения и хаотичного смешения компонентов в растворе. Для системы ПДАДМАХ–ПМАК величина энтропийного вклада отрицательна во всей области составов, что характерно для систем с сильными межмолекулярными взаимодействиями.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант 20-12-00031).

КРИСТАЛЛИЧНОСТЬ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПЛЕНОК ПОЛИЛАКТИДА

Курындин И.С., Лаврентьев В.К., Ельяшевич Г.К.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
isk76@mail.ru*

Возрастающий интерес к биodeградируемым полимерным материалам делает актуальными исследования их структуры и физико-механических свойств. В данной работе пленки биodeградируемого полимера – полилактида (ПЛА) – были получены методом экструзии расплава ПЛА марки PLA Ingeo 2023D (Nature Works, USA) с $M_w = 168\ 000$ г/моль и $T_{пл} = 152$ °С. Кратность фильерной вытяжки при экструзии (λ) варьировали от 25 до 121. Отжиг экструдированных пленок проводили в изометрических условиях. Исследовали влияние ориентационных воздействий при экструзии и температуры при отжиге ($T_{отж}$) на процессы кристаллизации и механические характеристики образцов.

Было установлено, что все экструдированные пленки находятся в аморфном состоянии. С увеличением λ возрастала их прочность и модуль упругости при сохранении предела текучести на уровне ~ 66 МПа. Образцы, полученные при $\lambda < 45$, показывали хрупкое разрушение при удлинениях ~ 4 %, в то время как деформация более ориентированных пленок ($\lambda > 45$) сопровождалась шейкообразованием и ростом разрывного удлинения до 130 %.

Методом рентгеновского рассеяния показано, что в процессе отжига пленки приобретают кристалличность, и зависимость степени кристалличности от $T_{отж}$ имеет максимум при $T_{отж}=130$ °С (Таблица). Процессы плавления, начинающиеся при $T_{отж} > 130$ °С, конкурируют в этом интервале $T_{отж}$ с процессами кристаллизации, и степень кристалличности снижается.

Таблица. Степень кристалличности и механические свойства экструдированных ($\lambda = 37$) и отожженных пленок ПЛА.

Температура отжига, °С	Степень кристалличности, %	Прочность, МПа	Предел текучести, МПа	Модуль упругости, МПа	Удлинение при разрыве, %
Экструд.	–	69	66	2150	3.7
110	42	69	76	3200	5.5
120	44	71	78	3250	6.2
130	47	69	79	3250	7.5
140	43	70	81	3300	8.9
150	40	73	83	3400	13.2

Как видно в Таблице, отожженные образцы имеют более высокий предел текучести и модуль упругости, чем экструдированные, в то время как прочность пленок практически не изменяется при отжиге. Наблюдаемое после отжига увеличение разрывного удлинения позволяет сделать вывод, что отжиг приводит к расширению области пластических деформаций при росте модуля упругости.

РУТЕНИЙ-СОДЕРЖАЩИЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ПИРИДИЛФЕНИЛЕНОВОГО ПОЛИМЕРА КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ГИДРИРОВАНИЯ ЛЕВУЛИНОВОЙ КИСЛОТЫ

Кучкина Н.В.¹, Сорокина С.А.¹, Михайлов С.П.², Васильев А.Л.³, Матвеева В.Г.², Шифрина З.Б.¹

¹Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова, г. Москва

²Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

³ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

kuchkina@ineos.ac.ru

Биологическое сырье и возобновляемые ресурсы являются устойчивой альтернативой нефтехимическим источникам для удовлетворения постоянно растущего спроса на энергию и химические вещества. Гидрирование левулиновой кислоты (ЛК), получаемой гидролизом лигноцеллюлозной биомассы, до гамма-валеролактон (ГВЛ) – одна из наиболее перспективных реакций в области переработки биомассы. ГВЛ – это универсальный полупродукт для производства топливных присадок и химикатов. Благодаря высокому спросу на ГВЛ, его эффективное производство является в настоящее время предметом интенсивных исследований. Поэтому разработка новых катализаторов для эффективной переработки биомассы в химические соединения с добавленной стоимостью является важным направлением исследований для комплексного решения проблем экологии. В настоящей работе синтезированы рутений-содержащие наноконпозиты, каталитическая активность которых была протестирована в реакции гидрирования ЛК в ГВЛ. Сверхразветвленный пиридилфениленовый полимер был использован в качестве матрицы для стабилизации НЧ Ru, а в качестве прекурсора Ru использовали RuCl_3 . Катализаторы были охарактеризованы методами просвечивающей электронной микроскопии, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, порошковой дифракцией. В результате каталитического тестирования было обнаружено, что НЧ Ru, образующиеся *in situ* при гидрировании ЛА из RuCl_3 , импрегнированного в полимер, проявляли более высокую каталитическую активность по сравнению с предварительно синтезированными НЧ Ru, полученными восстановлением импрегнированного в полимер RuCl_3 боргидридом натрия. Превосходная каталитическая активность, селективность и конверсия катализаторов сохранялась в семи последовательных каталитических циклах, что связано как с постепенным восстановлением частиц Ru в процессе гидрирования ЛК, так и с надежной стабилизацией НЧ Ru сверхразветвленным полимером, которая способствовала отсутствию «уноса» («личинга») Ru из катализатора в реакционный раствор, что подтверждается данными ИСР-анализа (атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-43-02025).

РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В НАНОКОМОПОЗИТЕ ПОЛИВИНИЛОВЫЙ СПИРТ – СЕРЕБРО

Ломовской В. А., Абатурова Н.А., Ломовская Н.Ю., Галушко Т.Б.,
Хлебникова О.А.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина, г. Москва
Lomovskoy@phyche.ac.ru*

Методом релаксационной спектроскопии исследованы диссипативные явления в пленках, полученных из поливинилового спирта с добавлением нитрата серебра, с последующим воздействием ультрафиолетового излучения. Получены спектры внутреннего трения и температурно- частотные зависимости в диапазоне температур от -150°C до $+150^{\circ}\text{C}$. Выявлены два релаксационных перехода в виде пиков механических потерь (α и γ – пики). Введение в раствор ПВС 0,1 М раствора AgNO_3 приводит к образованию хелата серебра (на схеме). Для восстановления серебра и образования наночастиц (in situ) систему облучали ультрафиолетовым светом (лампа ПРК-4, длина волны 254 нм).

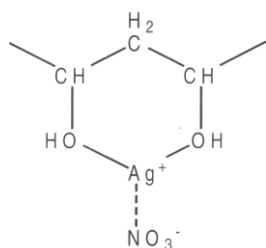


Схема хелатного соединения

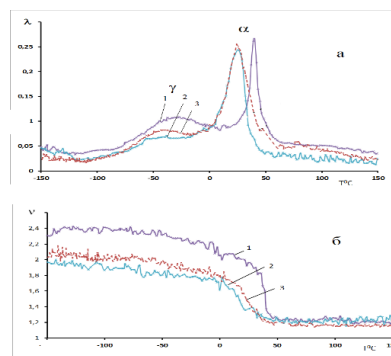


Рис.1

На рисунке 1а представлены спектры внутреннего трения полученных пленок: чистого ПВС (1), хелатного соединения (2), восстановленного после облучения ультрафиолетом (3). На рисунке (1б) представлены температурно-частотные зависимости, позволяющие вычислить дефекты модуля сдвига, характеризующие физико-механические свойства. На спектре мы видим, что введение серебра снижает температуру α – пика (стеклование). Сильно меняется форма и величина γ – пика, относящегося к колебаниям групп OH в ПВС. В чистом ПВС этот пик проявляется наиболее ярко, кривая (1), тогда как в хелатном соединении, где связаны группы OH , он почти исчезает (кривая 2). После облучения и восстановления серебра, группы OH частично освобождаются и величина γ – пика возрастает (кривая 3). Физико-механические и физико-химические свойства (энергия активации, времена релаксации) нанокompозита ПВС, заполненного наночастицами серебра и рассчитанные по температурно-частотным зависимостям (рис.1б) на базе феноменологической модели стандартного линейного тела, показывают снижение дефекта модуля. По литературным данным в композите увеличивается прочность на разрыв и модуль упругости.

Список литературы: [1] *Minakshi Jha, Navinchandra G. Shimpi. Adv. Industr. Engin. Polym. Res. 5, 3159-170 (2022).*

ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАЗМЕРЫ МАКРОМОЛЕКУЛ Na-КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Макаров М.Ю., Шур И.М., Вшивков С.А.

*Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
mattveimakarov@mail.ru*

Теория взаимодействия диамагнитных макромолекул с магнитным полем находится в стадии развития. Влияние поля заключается в ориентации макромолекул относительно силовых линий в направлении, зависящем от знака анизотропии диамагнитной восприимчивости макромолекул полимера.

Исследовали водные растворы натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) с $M_n = 1.2 \times 10^5$ и степенью замещения, равной 0,7. Растворы КМЦ готовили в течение десяти суток при 313 К. Измерения оптической плотности A растворов проводили при температуре 298 К с помощью спектрофотометра СФ-56 в диапазоне длин волн λ : 400-500 нм. Размеры рассеивающих свет частиц определяли методом спектра мутности, используя данные по оптической плотности растворов при длине волны $\lambda=450$ нм. Магнитное поле создавали с помощью постоянного магнита с напряженностью поля 7.2 кЭ. Кювету с раствором помещали в зазор между полюсами магнита и выдерживали в течение 20 минут. Вектор напряженности магнитного поля был направлен параллельно направлению прохождения света через кювету с раствором.

Обнаружено, что оптическая плотность растворов КМЦ в диапазоне концентраций 0.5-0.75 % масс. увеличивается после воздействия магнитного поля, а для растворов с концентрациями 1.0-2.0 % масс. – уменьшается. Определены концентрационные зависимости размеров рассеивающих свет частиц до и после воздействия магнитного поля.

КВАЗИРАВНОВЕСНЫЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА

Маслацова А.А., Полянский В.И., Грозеску А.Ю., Булкина А.К., Плешков А.В.,
Божевольнов В.Б.

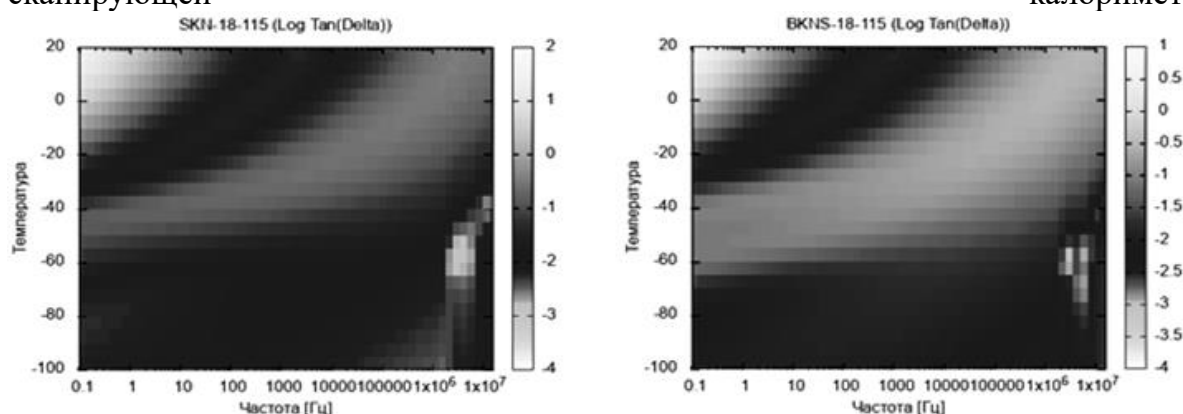
*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Ордена Ленина и ордена
Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт
синтетического каучука имени академика С.В. Лебедева» (ФГБУ «НИИСК»)
maslatsova.anna@bk.ru*

Квазиравновесные характеристики каучука, полученные в квазистатических измерениях, являются основой для прогнозирования его потребительских свойств. В работе приводятся сопоставимые данные по квазиравновесным диэлектрическим характеристикам (ёмкость образца, модуль диэлектрической проводимости и тангенс угла диэлектрических потерь) бутадиен-нитрильного каучука для двух значений массовых долей (%) нитрила акриловой кислоты (N=18, N=40) и двух производителей («ФГБУ «НИИСК», «Сибур»). Определены условия термического прессования исследуемых образцов, которые обеспечивают воспроизводимость диэлектрических измерений. Массив данных по квазистатическим диэлектрическим характеристикам образцов представлен в диапазонах изменения частоты (10^{-1} :- 10^6 Гц) и температуры ($-100 < T < 20$ С).

Микроструктуру образцов после различных режимов прессования контролировали методом нарушенного полного внутреннего отражения с применением спектрометра «Spectrum 100» (Perkin Elmer). Определение температур стеклования образцов проведено на дифференциальном сканирующем калориметре «DSC 8500» (Perkin Elmer).

Массив данных по квазистатическим диэлектрическим характеристикам образцов иллюстрирует зависимость температуры α -перехода от темпа изменения воздействия (скорости / частоты) и объясняет наблюдаемое в диапазоне 1 :- 100 Гц завывшение этой температуры относительно данных дифференциальной сканирующей

калориметрии.



Благодарности

Авторы признательны сотрудникам кафедры ЭТТ СПбГУ за плодотворное обсуждение методики измерения диэлектрических характеристик образцов.

РАЗРАБОТКА ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИОНИТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГЛИЦИДИЛОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ БЕНЗИЛАМИНА И ПОЛИАМИНОВ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОЙ СОРБЦИИ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Мельников Е.А.¹, Кондауров Р.Г.¹, Агибаева Л.Э.²

¹ТОО “Международный инженерно-технологический университет”,
г. Алматы, Республика Казахстан

²НАО “Казахский национальный университет им. аль-Фараби”,
г. Алматы, Республика Казахстан
sebas273@mail.ru

Разработаны анионообменные смолы на основе глицидиловых производных бензиламина (ГБА) и полиаминов (полиэтиленимин (ПЭИ) и полиэтиленполиамин (ПЭПА)). В таблице 1 показаны физико-химические свойства синтезированных анионитов. В таблице 2 представлены данные по сорбции золота и серебра при извлечении данных металлов на протяжении 7 суток из модельных растворов, имеющих концентрацию металла от 0,2 до 2,0 г/л, ионитами ГБА-ПЭИ и ГБА-ПЭПА.

Таблица 1 – Физико-химические свойства синтезированных анионитов

Аниониты на основе	СОЕ _{НСI} , мг-экв/г	V _{уд} , мл/г	Химическая устойчивость в растворах, %			Термическая устойчивость в воде, %
			5 н H ₂ SO ₄	5 н NaOH	10% H ₂ O ₂	
ГБА-ПЭПА	3,03	4,2	89,9	91,4	70,0	91,8
ГБА-ПЭИ	4,83	4,5	92,5	94,9	70,1	95,0

где СОЕ_{НСI} – статическая объемная емкость, V_{уд} – удельный объем.

Сорбционная емкость (СЕ) анионитов возрастает с повышением содержания ионов благородных металлов) в растворах. Подъем кривых при их малых равновесных концентрациях свидетельствует о том, что данными анионитами можно извлекать данные ионы с достаточной полнотой. Максимальная СЕ отмечена для анионита ГБА-ПЭИ и составляет 530,48 и 489,76 мг/г при извлечении ионов серебра и золота, соответственно.

Зависимость сорбции ионов благородных металлов анионитами от кислотности растворов показывает, что оптимальным значением рН для их извлечения ионитами ГБА-ПЭПА и ГБА-ПЭИ является 5,0. В этих условиях СЕ их достигает максимальных значений и составляет 581,6 и 530,48 мг/г, при извлечении ионов серебра и золота, соответственно.

Равновесное состояние между сорбентом и раствором, содержащим 2,0 г/л благородного металла и имеющим значение рН 5,0, наступает у обоих анионообменников через 3 ч.

Благодаря изученным сорбционным и кинетическим свойствам, синтезированные аниониты можно рекомендовать для извлечения ионов благородных металлов из промышленных гидрометаллургических растворов .

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИХ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ В ПРОЦЕССЕ СОЗДАНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ НОВЫХ МЕМБРАН СО СМЕШАННОЙ МАТРИЦЕЙ

Микулан А.Я., Дубовенко Р.Р., Кузьминова А.И., Дмитренко М.Е., Пенькова А.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
dubovenkorr@gmail.com*

В последние три десятилетия в области применения квантовой химии (КХ) происходит бурное развитие. Этому способствует появление и усовершенствование компьютерного оборудования, разработка и внедрение усовершенствованных методов вычисления, обладающих сбалансированным компромиссом между точностью и эффективностью, а также успешные примеры по использованию данных методов для решения реальных задач. Квантовые расчеты, особенно с использованием функционала электронной плотности, стали неотъемлемым инструментом во многих областях химических исследований. Использование КХ расчетных методов для систем большого размера (полимеры, кластеры наночастиц, пептидные цепи) остается сложной и труднореализуемой задачей.

В рамках представленной работы были показаны возможности применения КХ расчетов, которые являются одним из дополнительных методов исследования для предсказания и интерпретации полученных результатов, при создании новых полимерных мембран со смешанной матрицей на основе карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), модифицированных металлоорганическим каркасом Zn(VIM). Полная оптимизация геометрии всех модельных структур была выполнена с использованием ПО Gaussian 16 W. Для рассчитанных структур были проведены топологический анализ (QTAIM), анализ порядка связей, а также построены NCIPLOT. На основании КХ расчетов было подтверждено успешное внедрение модифицирующей добавки благодаря сравнению расчетных и экспериментальных спектров инфракрасной спектроскопии, произведен и обоснован выбор полимерной матрицы, оценено попарное сродство компонентов мембраны и разделяемой смеси, определен тип и оценены силы нековалентных взаимодействий. Полученные данные позволили подтвердить и обосновать экспериментальные результаты: тенденции, связанные с удельной производительностью, селективностью и изменением гидрофильно-гидрофобного баланса поверхности.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 20-79-10064, <https://rscf.ru/project/20-79-10064/>. Экспериментальная часть проводилась при участии ресурсных центров: Междисциплинарный ресурсный центр по направлению «Нанотехнологии», Инновационные технологии композитных наноматериалов, Рентгенодифракционные методы исследования, Методы анализа состава вещества, Вычислительный центр СПбГУ, Физические методы исследования поверхности, Наноконструирование фотоактивных материалов Санкт-Петербургского Государственного Университета.

РАЗРАБОТКА И ИЗУЧЕНИЕ НОВЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКОЙ КАРКАСНОЙ СТРУКТУРОЙ Zn(BIM)

Микулан А.Я., Кузьмина А.И., Дубовенко Р.Р., Дмитренко М.Е., Пенькова А.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
st097675@student.spbu.ru*

Мембранные процессы обладают рядом преимуществ перед классическими методами разделения, являясь энергосберегающей, высокоселективной и эффективной технологией, удобной для промышленного масштабирования благодаря компактному модульному оборудованию и легкости автоматизации процесса. На сегодняшний день первапорация - один из перспективных вариантов разделения жидких смесей, содержащих низкомолекулярные компоненты. Интересным решением для применения может стать гибридный процесс, сочетающий первапорационное разделение и химическую реакцию, например, для смещения равновесия в реакции этерификации. Так, удаление одного или нескольких продуктов реакции из реактора может привести к увеличению её конверсии. Для успешной реализации представленного гибридного процесса необходимо создание новых первапорационных мембран с подходящими свойствами. Разработка мембран со смешанной матрицей (МСМ) вызывает особый интерес, как перспективный способ улучшения транспортных характеристик полимерных мембран путем введения органического и/или неорганического модификатора.

В представленном исследовании были разработаны новые мембраны на основе карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), модифицированной металл-органической каркасной структурой Zn(BIM). Введение модификатора Zn(BIM), обладающего пористой структурой, в полимерную матрицу позволило улучшить транспортные характеристики благодаря изменению гидрофильно-гидрофобного баланса поверхности и увеличению свободного объема между полимерными цепями. Разработанные композитные мембраны были изучены методами сканирующей электронной (СЭМ), атомно-силовой (АСМ) микроскопий, ядерно-магнитного резонанса (ЯМР), ИК-Фурье спектроскопии и термогравиметрического анализа (ТГА). Для оценки гидрофильно-гидрофобных свойств поверхности мембран было проведено измерение углов смачивания водой методом сидячей капли. Влияние модифицирующей добавки на транспортные свойства мембран было исследовано при проведении гибридного процесса получения этилацетата (реакция этерификации+первапорация) при 60°C.

Благодарности *Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 20-79-10064, <https://rscf.ru/project/20-79-10064/>. Экспериментальная часть проводилась при участии ресурсных центров: Междисциплинарный ресурсный центр по направлению «Нанотехнологии», Инновационные технологии композитных наноматериалов, Рентгенодифракционные методы исследования, Методы анализа состава вещества, Вычислительный центр СПбГУ, Физические методы исследования поверхности, Наноконструирование фотоактивных материалов Санкт-Петербургского Государственного Университета.*

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕНОСА ПАРОВ ВОДЫ И МЕТАНОЛА В МЕМБРАНАХ НА ОСНОВЕ ПОЛИФЕНИЛЕН ОКСИДА

Мирошниченко Д.В., Шалыгин М.Г.

*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева
Российской академии наук (ИНХС РАН), г. Москва
dmiroshnichenko@ips.ac.ru*

Удаление паров из газовых потоков является востребованной задачей в различных технологических процессах. Наряду с традиционными методами удаления паров, такими как конденсация, абсорбция и адсорбция, благодаря своим преимуществам, заметное распространение получает мембранный метод. Мембранные системы активно применяются в процессах осушки газовых потоков (удаление паров воды) и рекуперации паров углеводородов. Мембранная осушка рассматривается в качестве перспективного метода при подготовке природного газа (ПГ). Мембранный метод обеспечивает также параллельное извлечение паров метанола, который используют при добыче ПГ в качестве ингибитора гидратообразования.

В процессах мембранной осушки применяются газоразделительные непористые полимерные мембраны. Представленные в литературе данные о проницаемости паров воды в мембранных полимерах взяты, как правило, из единственного источника, а величины коэффициентов проницаемости паров метанола встречаются довольно редко. Кроме того, транспортные характеристики многих полимеров могут существенно зависеть от методики получения и истории образца мембраны. Одним из ярких примеров таких полимеров является поли(2,6-диметил-1,4-фенелен оксид) (ПФО), в котором может образовываться кристаллическая фаза, доля которой в значительной степени определяет его свойства. Учитывая отсутствие подтверждённых литературных данных о транспортных характеристиках паров воды в этом полимере и использование ПФО для промышленного производства газоразделительных мембран, в том числе и в России, было проведено исследование переноса паров воды и метанола.

В процессе исследования было обнаружено, что проницаемость воды в ПФО существенно зависит от активности паров. При увеличении активности паров от 20 до 90% наблюдается линейный рост проницаемости в 2,5 раза. Значение коэффициента проницаемости паров воды оказалось близким к известным литературным данным (4060 баррер) при наибольшей активности паров.

Эксперименты с модельной тройной парогазовой смесью $H_2O/MeOH/CH_4$ показали, что зависимость проницаемости паров воды от их активности сохраняется, кроме того, такая же зависимость от активности паров воды наблюдается и для переноса паров метанола в смеси. При этом селективность $H_2O/MeOH$ остаётся практически на одном уровне. Исследование температурных зависимостей при высокой активности паров воды ($\approx 90\%$) показало малые значения кажущихся энергий активации проницаемости воды и метанола (-5,7 и -2,3 кДж/моль соответственно).

Благодарности

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИНХС РАН.

МЕХАНИЧЕСКИЕ, ОПТИЧЕСКИЕ И ПЕЧАТНЫЕ СВОЙСТВА КАРТОНОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ДОБАВЛЕНИЕМ ВТОРИЧНОГО ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ВОЛОКНА

Тихомирова Е.Р., Александров Д.М., Михаилиди А.М.

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий
и дизайна, Высшая школа печати и медиатехнологий, г. С.-Петербург
amikhailidi@yahoo.com*

Картонная упаковка – это один из наиболее востребованных видов бумажной продукции, при этом макулатурные картоны являются экономически выгодным и экологичным решением. Однако добавление в композицию картона вторичного целлюлозного волокна (ВЦВ), которое является продуктом переработки макулатуры, может ограничить его механические, оптические и печатные свойства. В данной работе мы исследовали эксплуатационные свойства картонов, имеющих в своем составе вторичные волокна целлюлозы, а также провели колориметрическую оценку оттисков, полученных способом цифровой печати.

Были исследованы семь видов картона, содержащих ВЦВ, – три немелованных и четыре мелованных образца сопоставимой толщины (0,50-0,55 мм). Для сравнения был использован образец картона, полученный нами в лабораторных условиях (согласно ISO 5269), который содержал только макулатуру марки А, при этом вспомогательные вещества, наполнители и отбеливатели в нем отсутствовали.

Гладкость, пухлость, впитывающая способность и прочность на разрыв картонов были исследованы по стандартным методикам. Эксплуатационные характеристики всех картонов с добавлением ВЦВ ниже по сравнению с нормами для чистоцеллюлозных картонов, поэтому на этапе печати могут быть неудовлетворительные результаты.

Колориметрическая оценка печатных свойств картонов состояла из следующих этапов: измерение параметров белизны образцов; печать тестовой мишени на картонах способом цифровой печати УФ-отверждаемыми красками; визуализация колориметрических измерений в цветовом пространстве La^*b^* МКО; измерение градационных характеристик запечатанных образцов.

Все картоны не содержали оптических отбеливателей, имели относительно низкую белизну (не более 90, СIE) и желтоватый оттенок из-за ВЦВ и древесной массы в составе. Белизна картонов с покрытием была значительно выше, чем у картонов без мелованного слоя. Цветовой охват картонов составлял от 7590 до 12574 и находился в прямой зависимости от белизны, при этом самые высокие значения наблюдались для мелованных картонов. Согласно градационным кривым, цветопередача также зависела от белизны. Интересно, что картоны без мелованного слоя продемонстрировали меньшие изменения цвета с наибольшим увеличением тона желтого, чем картоны с покрытием.

Таким образом, макулатурные картоны с покрытием могут быть рекомендованы для печати упаковки в тех же условиях, что и картоны из первичного волокна, а картоны без покрытия рекомендуются для цифровой печати УФ-красками.

ГИДРОГЕЛИ ИЗ ПЕРЕРАБОТАННОЙ МАКУЛАТУРЫ КАК ИСТОЧНИКИ ВОДЫ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Михаилиди А.М.¹, Горожанкина М.А.¹, Кондратьев В.М.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, г. С.-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Пушкин
amikhailidi@yahoo.com

Макулатура является ценным источником целлюлозы, регенерированные волокна которой могут служить основой для создания новых функциональных материалов [1]. Гидрогели (ГГ), полученные из целлюлозы, способны удерживать в десятки раз больше жидкости по сравнению с собственным весом. Такие материалы имеют перспективы в сельском хозяйстве в качестве дополнительного источника воды и минеральных удобрений для растений. Целью данной работы было исследование водоудерживающих, гидратационных и сорбционных свойств целлюлозных гидрогелей, полученных из отходов упаковочного картона.

ГГ получали путем растворения картона в ДМАА/LiCl с последующей регенерацией в воде по методике, описанной в публикации [1]. Растворимость картона варьировалась в пределах 47-60 масс.%. Водоудерживающая способность ГГ составила 28-35 г/г, с повышением концентрации целлюлозы от 0,5 до 1% она понижалась. На воздухе и в почве ГГ постепенно отдают воду, при этом в почве данный процесс замедляется. В процессе высыхания на воздухе (9-11 ч) происходит хорнификация ГГ, вследствие чего они теряют способность к набуханию. Лиофильно-высушенные ГГ демонстрируют способность к повторному набуханию (4,65 г/г).

Сорбционная способность ГГ по отношению к раствору минерального удобрения, содержащему $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, KNO_3 с общей концентрацией солей около 20%, определенная гравиметрически, составила $0,1523 \pm 0,0042$ г/г. ГГ сорбировали 16,8% от общего количества доступного удобрения (в пересчете на сухой остаток). Десорбция удобрения из гидрогеля в воду составила $52,68 \pm 1,94\%$ от изначально сорбированного количества. Способность ГГ сорбировать и десорбировать нитраты подтверждена также с помощью элементного анализа.

Исследовано влияние добавления ГГ на урожайность горчицы листовой и испарение влаги в закрытом грунте. Показано, что ГГ не оказывают ингибирующего влияния на прорастание и вегетацию растений, более того, добавление ГГ позволяет повысить скорость проращивания семян. В почве ГГ биодеградируют, теряя 84-92% массы в течение 2 недель.

Список литературы:

[1] Михаилиди А.М., Котельникова Н.Е. Химия растительного сырья **3**, 83 (2021).

Благодарности

Авторы выражают благодарность ведущему научному сотруднику ИВС РАН, д.х.н. Н.Е. Котельниковой, а также К.С. Киришу, Т.В. Артамоновой, С.Д. Шагрову, Е.Д. Сусановой (СПбГУПТД), принимавшим участие в исследовании. Работа выполнена в рамках федеральной программы Приоритет 2030.

РАЗРАБОТКА И ИЗУЧЕНИЕ ПЕРВАПОРАЦИОННЫХ МЕМБРАН ИЗ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОГО КОМПЛЕКСА ПОЛИЭТИЛЕНАМИНА С АЛЬГИНАТОМ НАТРИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОКСИДОМ ГРАФЕНА

Михайловская О.А., Сушкова К.Д., Кузьминова А. И., Пенькова А.В.,
Дмитренко М.Е.

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
mihajlovskaya.olga.1@yandex.ru*

Первапорация, как мембранный процесс, является одним из перспективных методов разделения жидких смесей низкомолекулярных веществ. Эффективность разделения в значительной степени зависит от материала мембраны и её характеристик. На сегодняшний день к одному из таких прогрессивных материалов для использования в промышленности относят полиэлектролитные комплексы (ПЭК), в состав которых входят молекулы способные к ионизации в растворе. Достичь необходимых транспортных и эксплуатационных характеристик возможно также путем создания мембран со смешанной матрицей - модификация мембран из полиэлектролитного комплекса наночастицами, которая способствует увеличению удельной производительности, селективности, химической и механической стойкости. В данной работе для создания мембран был использован ПЭК из полиэтиленимина и альгината натрия, при сшивании которого образуется матрица, обладающая улучшенными свойствами в кислой среде. В качестве модификатора ПЭК был использован оксид графена (ОГ). Целью данной работы являлась разработка диффузионных мембран на основе ПЭК из полиэтиленимина и альгината натрия, модифицированного ОГ, с улучшенными свойствами для первапорационной дегидратации биоспиртов. Были подобраны оптимальные условия приготовления композитов ПЭК/ОГ и мембран на основе их, структура и физико-химические свойства которых были изучены и охарактеризованы с использованием современных физико-химических методов анализа, а именно: инфракрасной спектроскопии, сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии, термогравиметрического анализа, измерением углов смачивания водой и степени набухания. Транспортные характеристики разработанных мембран были оценены в процессе первапорации при дегидратации биоспиртов (этанол, бутанол).

Благодарности *Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-73-01070, <https://rscf.ru/project/23-73-01070/>. Экспериментальная часть проводилась при участии ресурсных центров: Междисциплинарный ресурсный центр по направлению «Нанотехнологии», Термогравиметрические и калориметрические методы исследования, Криогенный отдел, Геомодель, Магнитно-резонансные методы исследования, Инновационные технологии композитных наноматериалов, Рентгенодифракционные методы исследования, Методы анализа состава вещества, Физические методы исследования поверхности, Наноконструирование фотоактивных материалов Санкт-Петербургского Государственного Университета.*

2-Р-46РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ПЕРВАПОРАЦИОННЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ АЛЬГИНАТА НАТРИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИМИ КАРКАСНЫМИ ПОЛИМЕРАМИ

Мызников Д.Д., Кузьминова А.И., Дубовенко Р.Р., Дмитренко М.Е., Пенькова А.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
dan.muzyznikov@gmail.com*

Для разделения и концентрирования низкомолекулярных компонентов используются непористые мембраны в процессе первапорации, в котором происходит преимущественное испарение одного или нескольких компонентов смеси через мембрану в газовую фазу. К преимуществам данного метода относят возможность разделения смесей изомеров, азеотропных смесей и термически неустойчивых веществ. Поскольку применение традиционных методов для решения этих задач затруднено, необходима разработка современных мембранных материалов. Модификация полимерных мембран с использованием органических и/или неорганических модификаторов, а именно разработка и создание мембран со смешанной матрицей (МСМ), является перспективным способом улучшения транспортных характеристик. В частности, всё большую популярность приобретает применение металл-органических каркасных полимеров (MOF) в качестве модификаторов, поскольку этот недавно открытый класс соединений оказывает значительное влияние на свойства создаваемых материалов.

В представленной работе новые первапорационные мембраны на основе биополимера альгината натрия (АН) были приготовлены путём введения трёх металл-органических каркасных полимеров на основе циркония (Zr-MOF): MIL-140A, MIL-140A-УК, MIL-140A-УК-ЭДТА. Влияние введения Zr-MOF в полимерную матрицу было исследовано методами ИК-Фурье спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии, атомной силовой микроскопии, термогравиметрического анализа, измерением краевого угла и степени набухания. Транспортные свойства разработанных мембран были изучены при первапорационном разделении смеси изопропанол-вода в широком диапазоне концентраций. Разработанные новые мембраны продемонстрировали улучшение транспортных характеристик по сравнению с немодифицированной мембраной, что может быть связано с уникальными свойствами Zr-MOF.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Стипендии президента Российской Федерации СП-2506.2022.1. Экспериментальная часть проводилась при участии ресурсных центров: Междисциплинарный ресурсный центр по направлению «Нанотехнологии», Термогравиметрические и калориметрические методы исследования, Криогенный отдел, Геомодель, Магнитно-резонансные методы исследования, Инновационные технологии композитных наноматериалов, Рентгенодифракционные методы исследования, Методы анализа состава вещества, Наноконструирование фотоактивных материалов Санкт-Петербургского Государственного Университета.

2-Р-47ОПТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОГО НАНОКОМПОЗИЦИОННОГО ДИЭЛЕКТРИКА НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И ФУЛЛЕРИНОЛА C₆₀(ОН)₄₄

Никитина Е.А., Капралова В.М, Сударь Н.Т.

*Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого,
Институт электроники и телекоммуникаций, г. Санкт-Петербург
eanikitina26@icloud.com*

Полимерные наноконпозиты представляют большой интерес для применения в органической электронике [1-2]. Поливиниловый спирт (ПВС) $-(\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2)_n-$, являющийся водорастворимым термопластичным полимером с хорошими пленкообразующими свойствами, обладает всеми необходимыми характеристиками для использования в качестве диэлектрика затвора в органических полевых транзисторах [3-4]. Полигидроксилированный фуллерен (фуллеринол) C₆₀(ОН)₄₄ подобно ПВС хорошо растворим в воде, что позволяет использовать его в качестве одного из компонентов водорастворимых наноконпозитионных диэлектриков. Варьируя концентрацию фуллеринола в матрице из ПВС, можно целенаправленно изменять оптические и электрические характеристики конпозитионного материала.

Объектами исследования служили пленки ПВС и ПВС + C₆₀(ОН)₄₄ толщиной 60-70 мкм. Для изучения диэлектрических характеристик использовался метод диэлектрической спектроскопии в частотном диапазоне 25 Гц - 1 МГц при температурах от 294 до 398 К. Измерения сопротивления пленок на постоянном напряжении осуществлялись с помощью электрометра KEITHLEY 610. Спектральные характеристики измерялись с помощью спектрофотометра СФ-56 в диапазоне длин волн от 190 до 1100 нм.

Проведено сопоставление оптических и электрических свойств пленок ПВС и наноконпозита ПВС + C₆₀(ОН)₄₄. Установлено, что даже небольшая добавка молекул фуллеринола в ПВС приводит к его окраске, причем пленки из наноконпозита становятся непрозрачными в УФ-области спектра. Показано, что при повышенных температурах наблюдаются заметные различия в проводимости и низкочастотной диэлектрической проницаемости исследуемых пленок. Проанализированы их возможные причины.

Список литературы:

- [1] Pleshakov I.V., Prokof'ev A.V., Bibik E.E., Nepomnyashchaya E.K., Velichko E.N., Kostitsyna T.A., Seliutin D.M. Nanosystems: Phys., Chem., Math. **12**(3), 279 (2021).
- [2] Гусев К.В., Ванин А.И., Соловьев В.Г., Gerbreders V., Ogurcovs A. Письма в ЖТФ **46**(11), 8 (2020).
- [3] Subbarao N. V., Gedda M., Iyer P. K., Goswami D. K. Org. Electron. **32**, 169 (2016).
- [4] Tsai T. D., Chang J. W., Wen T. C., Guo T. F. Adv. Funct. Mater. **23**(34), 4206 (2013).

ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО РАЗДЕЛЕНИЯ В СМЕСЕВОЙ КОМПОЗИЦИИ ПОЛИАМИД–ПОЛИЭТИЛЕН ОКСИД НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ГАЗОТРАНСПОРНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Отвагина К.В.¹, Клейман Г.М.², Маркин З.А.², Сазанова Т.С.³, Казарина О.В.^{1,3}

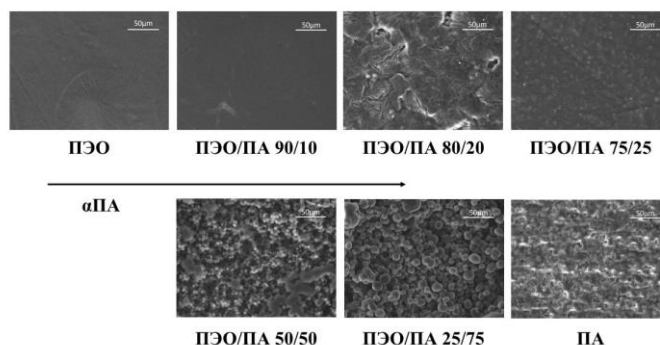
¹Лаборатория инженерной химии, Институт химии ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород

²ННГУ им. Н.И. Лобачевского, химический факультет, г. Нижний Новгород

³РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва

k.v.otvagina@gmail.com

Блок-сополимер полиамида и простого полиэфира, известный под торговой маркой РЕВАХ™, в последние годы привлекает внимание в качестве перспективного мембранного материала для выделения CO₂ из содержащих его газовых смесей. В рамках импортозамещения, нами предложено получение аналога РЕВАХ более дешевым и простым методом – получением смесей соответствующих полимеров. Однако, смеси структурно и соответственно функционально, отличаются от сополимеров. Влияние фазового разделения в системе полиамид–полиэтилен оксид на механические и газотранспортные свойства полимерных мембран изучалось на смесевых композициях этих полимеров с различным соотношением РЕО (масс%)/РА(масс%): 90/10, 80/20, 75/25, 50/50, 25/75. Морфологические особенности полученных мембран охарактеризована методом СЭМ. Согласно данным СЭМ, морфология мембраны напрямую зависит от соотношения компонентов в системе.



Наличие фазового разделения в системе влияет как на механические, так и на газотранспортные свойства полученных материалов. По сравнению с чистыми полимерами, смесевые материалы имеют меньшее относительное удлинение, однако материал с соотношением компонентов РЕО(масс%)/РА(масс%) 50/50 обладает сопоставимой с чистыми полимерами прочностью. Тем не менее, полученные значения разрушающего напряжения (13 МПа) для этой композиции все же значительно уступает известным значениям для сополимера РЕВАХ (30-32 МПа). Мембранные материалы на основе смесей РЕО/РА являются высокопроницаемыми благодаря эластомерной природе обоих полимеров.

Благодарности

При поддержке министерства науки и высшего образования, грант #FSSM-2021-0014 (лаборатория ионных материалов).

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИИМИДОВ С РАЗНОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ МОЛЕКУЛ

Павлов А.А.¹, Камалов А.М.², Борисова М.Э.¹, Диденко А.Л.³

¹*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Высшая школа высоковольтной энергетики, г. Санкт-Петербург*

²*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Научно-исследовательская лаборатория «Полимерные материалы для тканевой инженерии и трансплантологии», г. Санкт-Петербург*

³*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук, г. Санкт-Петербург*

Полиимид находит широкое применение в изоляционной технике, в авиационной и космической отраслях. В связи с этим уделяется большое внимание термопластичным полиимидам, изучению свойств этих материалов [1]. Целью данной работы является установление взаимосвязи между жесткостью макромолекул и диэлектрическими и механическими характеристиками полиимидов.

В качестве исследуемых образцов были выбраны пленки полиимидов с разной жесткостью макромолекул: Р-СОД, ДФО-ДАДФЭ, ДФ-пФ, ДФ-Б. Растворы полиамидкислоты (ПАК) получались поликонденсацией смеси диангида и диамина в растворителе ДМАА(диметилацетамиде). Полиимидные пленки толщиной ~ 60 мкм получены поливом на стекле 10-20% раствора ПАК с последующей его сушкой при 60 °С в течение суток.

Для измерения диэлектрической проницаемости, проводимости и тангенса угла диэлектрических потерь образцов была использована установка на основе Novocontrol Alpha-N High Resolution Dielectric Analyzer.

Измерение механических характеристик образцов проводилось с использованием установки Instron 5943. Были получены предел прочности, модуль упругости и относительное удлинение до разрыва. Испытания показали, что с увеличением значения сегмента Куна, определённого в растворе для всех исследуемых плёнок [2], характеристики предела прочности и модуля упругости увеличиваются.

Список литературы:

[1] Kamalov A., Smirnova N., Kolbe K. Journal of Applied Polymer Science. **139** (42), 1 (2022).

[2] Назарычев В.М. Полноатомное компьютерное моделирование термопластичных полиимидов с варьируемой структурой диаминных фрагментов: дисс. канд. физ.-мат. наук. Санкт-Петербург, 2015.

Благодарности

Исследованные полимеры были синтезированы в лаборатории синтеза высокотермостойких полимеров ИВС РАН. Исследование профинансировано Министерством науки и высшего образования РФ в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» (соглашение 075-15-2023-380 от 20 февраля 2023 г.).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМАХ

Чалых А.Е.¹, Герасимов В.К.¹, Щербина А.А.², Петрова Т.Ф.¹

¹ *Институт Физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, г. Москва*
petrttt@mail.ru

² *Химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Высшая инженерная школа химической технологии и машиностроения*
г. Москва

На примере трех и четырехкомпонентных полимер-полимерных систем, характеризующихся аморфным расслоением, разработана оригинальная методика определения парных параметров взаимодействия смесового сорбента с растворителем, первого и второго полимеров с растворителем и парного параметра взаимодействия полимеров между собой.

Наряду с сорбционными измерениями предложено для многокомпонентных систем, характеризующихся сложным аморфно-кристаллическим фазовым равновесием, для определения парных параметров взаимодействия использовать результаты термохимических исследований.

Методика расчетов апробирована на примере системы поливиниловый спирт – хитозан – вода, полиэтиленоксид – хитозан – вода. Показана возможность расчета диаграмм фазового состояния по экспериментально найденным температурным зависимостям парного параметра взаимодействия систем поливиниловый спирт – хитозан, полиэтиленоксид – хитозан.

Список литературы:

[1] *Чалых А.Е., Герасимов В.К., Михайлов Ю.М.* Диаграммы фазового состояния полимерных систем. М. Янус-К. 1998. 214с.

[2] *Герасимов В.К., Чалых А.А., Чалых А.Е., Разговорова В.М., Фельдштейн М.М.* Высокомолек. соед. Сер А., **43**, № 12, с. 2141 (2001). [*Polymer Science, Ser. A, 43*, №12, 2001, 1266 (Engl. Transl.)].

[3] *Чалых А.Е., Байрамов Д.Ф., Герасимов В.К., Чалых А.А., Фельдштейн М.М.* Высокомолек. соед., Сер А., **45**, № 11, с. 1856, (2003) [*Polymer Science, Ser. A, 45*, №11, 2003, 1115 (Engl. Transl.)].

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 122011300053-8).

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПРОЦЕСС
ДЕСТРУКЦИИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА**

Подзорова М.В.^{1,2}, Тертышная Ю.В.^{1,2},

¹Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, г. Москва

²Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля Российской академии наук,
г. Москва
mariapdz@mail.ru

Загрязнение окружающей среды является серьезной проблемой и привлекает значительное внимание, особенно в связи с увеличением количества отходов, накапливающихся на свалках. Считается, что разработка материалов на основе биоразлагаемых полимеров является эффективным способом решения проблемы пластиковых отходов. В настоящее время тщательно исследуются биоразлагаемые полимерные материалы на основе полимолочной кислоты (ПЛА), полигидроксиалканоатов (ПГА), поликапролактона (ПКЛ) и других [1, 2]. Для того, чтобы понять механизмы, связанные с фрагментацией полимерных материалов при воздействии факторов окружающей среды, важно учитывать изменения в течении времени, поэтому в данном исследовании представлены результаты испытаний композиций на основе полилактида при воздействии УФ-излучения и почвы [3].

Исследование пленочных образцов на основе полилактида с содержанием натурального каучука (НК) и ПКЛ 10 мас.% проводилось при воздействии почвы (в течении 30 дней) и УФ-излучении в течении 50 часов при длине волны 254 нм. Добавка НК и ПКЛ увеличивает эластичность матрицы ПЛА и снижает прочность сохраняя оптимальные эксплуатационные свойства. Так при добавлении 10 мас. % НК относительное удлинение увеличивается на 5%. Установлено, что у ПЛА при инкубации в почве снижается степень кристалличности (χ) на 4%, в то время как УФ-излучение оказывает значительное воздействие, что приводит к снижению χ на 10%. После инкубации в почве у ПКЛ происходит увеличение как температуры плавления, так и степени кристалличности, что свидетельствует о разрушении материала. Композиты ПЛА/ПКЛ и ПЛА/НК характеризуются наличием межфазного слоя. Материалы с такой структурой более активно подвергаются воздействию агрессивных сред, поэтому потеря массы после испытаний в почве у таких материалов выше. Наличие добавки в матрицу ПЛА немного затормаживает фотолитические процессы.

Список литературы:

- [1] *Tertyshnaya Y. V., Podzorova M. V., Khramkova A.V., Ovchinnikov V. A., Krivandin A. V. Polymers.* **13** (3), 461 (2021).
[2] *Podzorova M. V., Tertyshnaya Yu. V., Pantyukhov P. V., Shibryaeva L. S., Popov A. A., Nikolaeva S. AIP Conference Proceedings* **1783**, 020185 (2016).
[3] *Garvey C.J., Imp'erior-Clerc M., Rouzi`ere S., Gouadec G., Boyron O., Rowenczyk L., Ter Halle A. Environ. Sci. Technol.* **54**,(18), 11173–11181 (2020).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РЭУ им. Г.В. Плеханова.

ВЛИЯНИЕ АЛИФАТИЧЕСКОГО ДИАМИНА В СОСТАВЕ ФОРПОЛИМЕРНОЙ ПЕНООБРАЗУЮЩЕЙ КОМПОЗИЦИИ НА СВОЙСТВА ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПЕНОПОЛИИМИДА

Полотнянщиков К.С., Светличный В.М., Ваганов Г.В., Иванов А.Г., Иванькова
Е.М., Камалов А.М., Мягкова Л.А., Попова Е.М., Юдин В.Е.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
konstantin.polotn@gmail.com*

Развитие авиационной отрасли и судостроения в последние десятилетия выдвинуло ряд новых требований к используемым материалам [1, 2], важнейшими из которых являются высокая термостойкость и изоляционные свойства при низкой массе, что может быть достигнуто благодаря использованию легких наполнителей, таких как пеноматериалы. Для разработки таких материалов большой интерес представляют полиимиды, благодаря их уникальным свойствам, среди которых термостабильность и высокие механические свойства при низкой плотности. При этом, имеется возможность модификации пенополиимидов путем введения в ароматическую цепь алифатических фрагментов, что позволяет варьировать свойства пеноматериалов и удешевить их производство [3]. В данной работе для получения пенополиимидов использована пенообразующая композиция, в состав которой входят диангидрид 3,3',4,4'-бензофенонтетракарбоновой кислоты, 1,6-гексаметилендиамин (ГМДА), 4,4'-диаминодифениловый эфир (ДАДФЭ), этиловый спирт.

При использовании пенообразующих композиций с содержанием ГМДА от 0 до 40% по отношению к ДАДФЭ получены образцы пенополиимидов, их строение подтверждено методом ИК-спектроскопии. Методом сканирующей электронной микроскопии исследована морфология полученных образцов пеноматериала. Прослежено влияние количества вводимого ГМДА наряду с ДАДФЭ в пенообразующую композицию на структуру, термические и механические свойства образующихся пенополиимидов.

Список литературы:

- [1] Gu W., Wang G., Zhou M., Zhang T., Ji G. ACS Appl. Mater. Interf. **12** (43), 48246 (2020).
- [2] Luo Y.F., Ni L., Zhang X.Q., Jiang X.Y., Zou H.W., Zhou S.T., Liang M., Liu P.B. Industrial & Engineering Chemistry Research. **61** (2), 1089 (2022).
- [3] Chen D.S., Chen C.H., Whang W.T., Su C.W. Advances in Polymer Technology. **2022**, Article ID 3859792 (2022).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке за счет гранта Российского научного фонда № 23-13-20001, <https://rscf.ru/project/23-13-20001/> и регионального гранта Санкт-Петербургского научного фонда.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОПОЛИ(ГИДРАЗИДИМИД)А И ЕГО КОМПЛЕКСА с Cu(I) ПРИ МЕМБРАННОЙ ОЧИСТКЕ ДИМЕТИЛКАРБОНАТА

Полоцкая Г.А.^{1,2}, Гойхман М.Я.¹, Подешво И.В.¹, Лорецян Н.Л.¹, Файков И.И.², Пулялина А.Ю.^{2,3}

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,
г. Санкт-Петербург*

³*ФГБУН Федеральный исследовательский центр "Кольский научный центр РАН",
г. Апатиты
polotskaya@hq.macro.ru*

Диметилкарбонат (ДМК) является перспективной присадкой, повышающей октановое число бензина, а также современным "зелёным" реагентом и растворителем [1]. Выделение ДМК высокой чистоты из азеотропной смеси с метанолом возможно только мембранным методом первапорации. Для успешной реализации мембранных технологий требуются высокоэффективные мембранные материалы, обеспечивающие высокий уровень проницаемости и селективности по отношению к целевым компонентам. В настоящей работе в качестве мембранных материалов синтезированы поли(2,2'-бихинолин-6,6'-дикарбогидразид)-со-(бистримеллитимид) метилен-бисантранилид (ПГИ) и его металлополимерный комплекс ПГИ-Cu(I). Новые мембраны ПГИ и ПГИ-Cu(I), содержащие несколько типов функциональных групп (гидразидные, карбоксильные, амидные и имидные фрагменты), были приготовлены в виде тонких плотных пленок. Проведено сравнительное исследование их структуры, физических и транспортных свойств. Морфология ПГИ-Cu(I) мембраны более плотная и однородная по толщине по сравнению с ПГИ мембраной, что обусловлено сшиванием макромолекул ПГИ через атом Cu(I).

Транспортные свойства мембран ПГИ и ПГИ-Cu(I) исследованы при первапорации смесей метанол-ДМК в широком диапазоне составов, включая азеотропную точку: 61 мас.% метанола и 39 мас.% ДМК, при 40 °С. Было обнаружено, что обе мембраны преимущественно пропускают пермеат, обогащенный метанолом. Установлено, что проницаемость мембраны ПГИ выше, чем ПГИ-Cu(I), при всех составах исходной смеси. В то же время ПГИ-Cu(I) мембрана имеет более высокий фактор разделения, чем ПГИ. Расчет индекса первапорационного разделения позволил сделать вывод, что ПГИ-Cu(I) мембрана обладает лучшими транспортными свойствами по сравнению с ПГИ мембраной.

Список литературы:

[1] Арико Ф., Тундо П. *Успехи химии* **79** (6), 532–543 (2010).

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО МОДИФИКАТОРА, СОСТОЯЩЕГО ИЗ ЗВЕЗДОБРАЗНЫХ МАКРОМОЛЕКУЛ И ИОННОЙ ЖИДКОСТИ, НА СТРУКТУРУ И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИАМИДНОЙ МЕМБРАНЫ

Полоцкая Г.А.^{1,2}, Курындин И.С.¹, Зоолшоев З.Ф.¹, Файков И.И.², Пулялина А.Ю.^{2,3}

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,
г. Санкт-Петербург*

³*ФГБУН Федеральный исследовательский центр “Кольский научный центр РАН”,
г. Апатиты
polotskaya@hq.macro.ru*

Новая гибридная мембрана на основе промышленного поли(*m*-фенилен-изофталамида) создана за счет включения современного комплексного модификатора, состоящего из равных количеств гетеролучевых звездообразных макромолекул (ГЗМ) и ионной жидкости [BMIM][Tf₂N] (ИЖ). Гетеролучевой звездообразный полимер состоит из центра ветвления фуллерена C₆₀ с шестью лучами полистирола и шестью лучами диблоксополимера поли-2-винилпиридин-блок-поли-*трет*-бутилметакрилата. Проведены сравнительные исследования структуры и свойств образцов мембран из чистого ПА и гибридных мембран ПА/ГЗМ и ПА/(ГЗМ:ИЖ), содержащих 5% добавок. Капиллярная вискозиметрия выявила в формовочных растворах ПА/(ГЗМ:ИЖ) наличие агрегатов макромолекул, что позволяет предположить межмолекулярное взаимодействие компонентов мембраны в растворе. Плотность полимерных пленок уменьшается при добавлении 5% ГЗМ или ГЗМ:ИЖ. Данные АСМ свидетельствуют о значительном изменении характера поверхности и увеличении её шероховатости. Измерения краевых углов смачивания водой поверхности мембран указывают на гидрофобизацию мембраны после введения комплексного модификатора.

Транспортные свойства исследованы в процессе перапорации смеси метанола и *n*-гептана, в том числе смеси азеотропного состава. Актуальность этой задачи связана с процессами переработки нефти. Установлено, что новая ПА/(ГЗМ:ИЖ) мембрана обладает более высокими производительностью и фактором разделения по сравнению с немодифицированной ПА мембраной, чему способствует комплексный модификатор, который создает в мембране зоны специфического набухания и дополнительные транспортные каналы для предпочтительной проницаемости метанола. При механических испытаниях мембран был установлен высокий уровень механических свойств (прочность и относительное удлинение при разрыве), что обеспечит их технологичность при использовании в производственном процессе.

ПОВЕДЕНИЕ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА И АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА В ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКИХ ДИСПЕРСИЯХ

Пономарева Д.А.¹, Реут Е.А.¹, Серхачева Н.С.¹, Черникова Е.В.², Прокопов Н.И.¹

¹*МИРЭА-Российский технологический университет, институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

²*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет, г. Москва
d89169750510@yandex.ru*

Создание наноконтейнеров на основе амфифильных блок-сополимеров является одним из интенсивно развиваемых направлений полимерной науки [1]. Как правило, в этом случае сополимер имеет блоки, отличающиеся по природе, например, гидрофильный и более гидрофобный блок. Примерами таких блок-сополимеров могут быть сополимеры N-изопропилакриламида (НИПАМ) и акриловой кислоты (АК), в которых блок поли(N-изопропилакриламида) является более гидрофобным по сравнению с гидрофильным блоком полиакриловой кислоты (ПАК). В водных средах поведением блок-сополимеров можно управлять добавлением растворителя, селективного по отношению только к одному из блоков, например, ацетона, в котором ПНИПАМ хорошо растворяется, а ПАК имеет плохую растворимость.

В настоящей работе блок-сополимеры синтезировали полимеризацией с обратимой передачей цепи по механизму присоединения-фрагментации под действием третиокарбонатов (ТТК) в 1,4-диоксане, инициируемой динитрилом азоизомасляной кислоты. В результате был получен диблок-сополимер ПАК-блок-ПНИПАМ с ТТК-группой на конце цепи ($M_n \sim 10600$, $M_w/M_n \sim 1.23$) и триблок-сополимер ПНИПАМ-блок-ПАК-блок-ПНИПАМ с ТТК-группой внутри цепи ($M_n \sim 14300$, $M_w/M_n \sim 1.25$). В водной среде при $pH = 7$ были получены дисперсии сополимеров. Как мы полагаем, в воде блок-сополимеры будут формировать частицы с морфологией «ядро-корона». Причем частицы диблок-сополимера будут напоминать структуру наподобие мицеллы, а частицы триблок-сополимера – цветка.

При добавлении первой порции ацетона (25 мкл) к дисперсии диблок-сополимера (1 % масс., 100 мл) происходит резкое уменьшение диаметра частиц со 105 нм до 19 нм, а при добавлении второй - до 11 нм. Уменьшение размера частиц практически в 10 раз может служить подтверждением конформационного перехода цепей ПАК. Добавление 25 мкл ацетона к дисперсии триблок-сополимера способствовало уменьшению диаметра со 117 нм до 60 нм, добавление второй порции – до 49 нм. По-видимому, расположение блока ПАК внутри цепи блок-сополимера оказывает лучший стабилизирующий эффект даже при изменении конформации цепи.

Список литературы:

[1] Nakashima K., Bahadur P. Adv. Colloid Interface Sci. **123**. 75 (2006).

ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДА Р-ОДФО МЕТОДОМ ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Попова Е.Н., Ваганов Г.В., Диденко А.Л., Юдин В.Е.

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург
men682003@mail.ru*

Современные материалы на основе термопластичных полимеров, обладающих термической стабильностью, хорошей химической стойкостью и высокими механическими характеристиками востребованы в производстве космической техники и самолетостроении. Композиционные материалы из углеродных волокон широко используются в конструктивных элементах и деталях летательных аппаратов. Применение углепластиков на основе полиимидов требует наличия эффективного, быстрого и доступного метода определения содержания волокна в углепластике, так как высокая термическая и химическая стойкость полиимидов, делает традиционные методы оценки состава композитов на основе химического травления сложными и трудоемкими. Термогравиметрический анализ (ТГА) является одним из наиболее перспективных кандидатов в этой области [1].

В представленной работе получены порошки частично-кристаллического полиимида Р-ОДФО на основе диангирида Р (1,3-бис(3,3',4,4'-дикарбоксифеноксид)бензол) и диамина ОДФО (4,4'-бис(4''-аминофеноксид)бифенил) с различной молекулярной массой. В качестве армирующего наполнителя для углепластиков использованы углеродные волокна типа ЭЛУР П-0,08 в виде ленты шириной 200 мм с линейной плотностью 15 г/м. Молекулярную массу синтезированных полиимидов регулировали путем изменения исходных мономеров (диангирида к диамину) в ходе образования полиамидокислоты. Углепластики были получены путем электростатического распыления полиимидных порошков с последующей их пропиткой в обогреваемых каландрах и горячем прессовании [2].

Испытания углепластиков проводили методом ТГА на приборе TG 209 F1 фирмы NETZSCH (Германия). Прогоны ТГА осуществляли в двух режимах – непрерывный нагрев до температуры 800°C со скоростью 10°C/мин и изотермический отжиг при заданной температуре в окислительной атмосфере.

Исследование показало, что для точного определения содержания углеродных волокон в композитах на основе термостойких полиимидов следует использовать метод ТГА в изотермических условиях.

Список литературы:

[1] *Gizynski M., Romelczyk-Baishya B. J. Thermopl. Compos. Mat.* **34(1)**, 126-140 (2021). [2] *Vaganov G., Simonova M., Romasheva M., Didenko A., Popova E., Ivan'kova E., Kamalov A., Elokhovskiy V., Vaganov V., Filippov A. Polymers. Vol.* **15(13)**, 2922-2937 (2023).

Благодарности

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 22-23-20117, <https://rscf.ru/project/22-23-20117/> и гранта Санкт-Петербургского научного фонда в соответствии с соглашением от 13.04.2022 г. № 9/2022.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРИ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ СИЛОКСАНОВЫХ КАУЧУКОВ МЕТАЛЛАМИ ПЕРЕМЕННОЙ ВАЛЕНТНОСТИ

Попова С.М., Резниченко Д.С.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
учреждения*

«МИРЭА — Российский технологический университет»

(РТУ МИРЭА), г. Москва

30072001psm@gmail.com

К термостойким полимерам обычно относят полимеры физические и эксплуатационные свойства, которых незначительно изменяются при длительном воздействии температур до 300 °С и выше. Они широко применяются в современной технике. Для резинотехнических изделий, работоспособных в условиях воздействия экстремально высоких и низких температур, используют эластомерные материалы на основе полиорганосилоксановых каучуков.

Для увеличения теплостойкости метилвинилсилоксановых каучуков в состав резин вводят окислы переходных металлов, обладающие переменной степенью окисления, такие как Fe_2O_3 , TiO_2 . По литературным данным известно, что они могут давать синергетический эффект при термостабилизации вулканизатов [1].

В связи с этим целью работы являлось исследование механизма и выяснение оптимума концентрации появившихся на отечественном рынке термостабилизаторов на свойства резин на основе силоксановых каучуков. В качестве объекта исследования использовали резиновые смеси на основе каучука СКТВ-1 с содержанием 0,7 % метилвинильных звеньев.

По результатам работы показано, что применение оптимального сочетания двух оксидов позволяет эффективно разрывать перекиси типа $[-C-O-O-]_n$ и полимерные гидроперекиси, возникающие в присутствии протонодонорных реагентов в резиновой смеси на второй стадии вулканизации.

Используемая комбинация термостабилизаторов уменьшает разрушение образцов резин при термическом старении при статической деформации сжатия, возникающее при использовании только TiO_2 вследствие его высокой каталитической активности [2]. Предложено использовать термостабилизаторы $TiO_2 : Fe_2O_3$ в соотношении 2,5 : 5,0 масс. ч.

Список литературы:

[1] *Melcher J., Feroz S., Bahnemann D. J. Mat. Sci.* **52**, 6341–6348, (2017)

[2] *Englert M. et al. Polym. Test.* **115**, 107726, (2022).

ПОЛИМЕРНЫЕ СОКРИСТАЛЛЫ В СМЕСЯХ ПОЛИЭТИЛЕНОКСИДА С ТИМОЛОМ: ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ, ТЕРМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ

Почивалов К.В.^{1,2}, Баско А.В.², Лебедева Т.Н.²

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук,
г. Иваново
pkv@isc-ras.ru*

Сокристаллы – это твердые соединения, в которых два или более вещества формируют общую кристаллическую решетку обычно в строгом стехиометрическом соотношении друг с другом. К отдельному классу сокристаллов относятся полимерные сокристаллы, в которых один или более компонентов имеет макромолекулярную природу. В частности известно о существовании кристаллических комплексов полиэтиленоксида (ПЭО) с мочевиной, некоторыми производными бензола, поли(2,6-диметил-1,4-фенилен)оксида с различными низкомолекулярными веществами, некоторых биорезорбируемых полимеров с лекарственными веществами, стереокомплексах полилактида и т.д.

В докладе будут обсуждены результаты исследований оптическими методами, методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и рентгеноструктурного анализа (РСА) иллюстрирующие образование комплексов ПЭО с 2-изопропил-5-метилфенолом (тимолом) – природным монотерпеноидом, обладающим выраженными антибактериальными свойствами. В частности, будет подробно рассмотрено термическое поведение смесей ПЭО с тимолом, дана термодинамическая трактовка линий и областей на их диаграмме состояния. Будет показано, что в зависимости от состава и температуры, смесь может представлять собой гель, узлами сетки которого являются либо полимерные сокристаллы, либо кристаллиты чистого ПЭО, либо кристаллиты обоих типов, а стехиометрический состав отвечает соотношению 3 звена ПЭО к 2 молекулам тимола. Также будет рассмотрено влияние состава смеси на температуру ее стеклования и вид дифрактограмм широкоугольного рентгеновского рассеяния.

В заключении будет обсуждено влияние природы среды (воздух, изопропанол, вода), окружающей смесь ПЭО с тимолом стехиометрического состава на эволюцию ее состояния и структуру. Будет показано, что при выдержке образцов на воздухе или в жидкости, имеющей высокое сродство по отношению к тимолу, но низкое по отношению к полимеру (изопропанолу), комплексы в них разрушаются в результате сублимации/экстракции тимола, после чего полимер постепенно кристаллизуется, образуя кристаллиты чистого ПЭО. При выдержке же образцов в жидкости, обладающей высоким сродством по отношению к полимеру, но не взаимодействующей с тимолом (воде), комплексы разрушаются в результате проникновения воды в аморфные области (набухания) с последующим формированием капель жидкого тимола.

ТЕПЛОРЕГУЛИРУЮЩИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ: МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ

Прядезников Б.Ю.¹, Прядезникова А.А.¹, Москалюк О.А.¹, Бутузов В.Н.²

¹*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград*

²*ООО «Микскап», г. Саранск*

VPryadeznikov@kantiana.ru

В последние десятилетия полимерные композиты со специальными свойствами нашли широкое применение в различных отраслях, таких как строительство, электроника, медицина, космическая и текстильная промышленности. Особый интерес вызывают полимерные композиционные материалы с теплорегулирующими свойствами, которые обеспечивают эффективный контроль над тепловым режимом и могут использоваться для поддержания комфортных условий в различных сферах. Существует несколько методов создания полимерных композитов с теплорегулирующими свойствами. Один из них - введение в основной полимерный материал специальных наполнителей, обладающих фазовым переходом. Фазовым переходом называется процесс, при котором вещество способно накапливать и выделять скрытую тепловую энергию. Материалы с фазовым переходом классифицируют на органические (парафины) и неорганические вещества (гидраты солей). В качестве матрицы для полимерных композитов с теплорегулирующими свойствами часто используются термопласты, такие как полиамид, полиэтилентерефталат и полипропилен [1]. Для оценки теплорегулирующих свойств полимерных композиционных материалов с МФП применяются различные методики. Дифференциальная сканирующая калориметрия позволяет определить температуру фазовых переходов, интенсивность процессов и количество выделяемого тепла в зависимости от типа и концентрации добавок. Исследования указывают на то, что введение в полимерную матрицу наполнителей с фазовым переходом, с различными температурными интервалами (-50, -40, ..., +30, +100 °С), позволяет создавать полимерные композиты с теплорегулирующими свойствами в широком диапазоне температур. Некоторые наполнители могут иметь более выраженный теплорегулирующий эффект по сравнению с другими при введении в основной полимерный материал. Кроме того, концентрация добавок также оказывает влияние на теплорегулирующий эффект полимерных композитов с фазовыми переходами [2]. Дальнейшие исследования в этой области помогут улучшить понимание процессов, связанных с теплорегулирующими свойствами полимерных композитов и расширить их применение в реальных условиях эксплуатации.

Список литературы:

[1] Pakdel, E. Naebe, M. Sun, L. Wang, X. ACS Appl. Mater. Interfaces. **11**, 13039–13057 (2019). [2] Fultz, B. Phase Transitions in Materials, 2nd ed. Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2020; pp. 154–196.

Благодарности

Данное исследование было поддержано из средств программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» БФУ им. И. Канта.

ОБЗОР И АНАЛИЗ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ

Прядезникова А.А.¹, Прядезников Б.Ю.¹, Москалюк О.А.¹, Бутузов В.Н.²

¹*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград*

²*ООО «Микскап», г. Саранск*

APryadeznikova.smartex@yandex.ru

Теплоаккумулирующие материалы способны поглощать, хранить и выделять тепло при фазовом переходе. Эти материалы обладают уникальными физико-химическими свойствами, делая их привлекательными в различных областях. Материалом с фазовым переходом (МФП) называют вещество, которое при фазовом переходе способно аккумулировать и выделять скрытую тепловую энергию. МФП классифицируют на органические (парафины) и неорганические вещества (соли). Парафины октадекан и гексадекан имеют высокую теплоемкость и доступную цену, но они также имеют недостатки: высокую точку плавления, нестабильность при повторном нагреве-охлаждении и низкую теплопроводность. Соли, включая гидраты сульфатов и хлоридов, обладают высокой теплопроводностью и стабильностью, но требуют специальной упаковки из-за взаимодействия с влагой воздуха. МФП при высокой температуре плавится и для предотвращения вытекания жидкости используют метод макрокапсулирования и микрокапсулирования [1, 2]. Теплоаккумулирующие МФП имеют широкий спектр применений. В энергетике они используются для оптимизации энергоэффективности зданий или процессов. В строительстве применяются в утеплителях и бетоне для регулирования температуры и снижения энергозатрат на обогрев и охлаждение. В электронике они используются для теплоотвода и контроля температуры электронных компонентов, предотвращая перегрев. В текстильной отрасли они могут использоваться для создания одежды с регулируемой теплоизоляцией и комфортными свойствами. Дальнейший анализ и улучшение теплоаккумулирующих материалов имеют важное значение для расширения их применений. Одной из основных задач является увеличение теплоемкости и стабильности материалов, а также повышение их теплопроводности для более эффективного теплообмена. Теплоаккумулирующие вещества с фазовым переходом представляют собой важный класс полимерных материалов с уникальными физико-химическими свойствами.

Список литературы:

[1] Sarbu I., Dorca A. Int. J. Energ. Res. **43**, 1-611, (2019).

[2] Hu R., Liu Y., Shin S., Huang S., Ren X., Shu W., Cheng J. Tao G., Xu W., Chen, R., Luo, X. Adv. Energy Mater. **10**, 1903921, (2020).

НАПРАВЛЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ВСПУЧИВАЮЩЕЙСЯ КРАСКИ ОЛИГОМЕРНЫМИ ПАВАМИ

Птицын Д.А.¹, Константинова Е.П.¹, Клевцова И.В.²

¹ФГБОУ ВО Ивановский государственный химико-технологический университет,
Иваново

²ООО "Полимер Экспорт", Иваново

Огнезащитные водно-дисперсионные пигментированные лакокрасочные материалы (ПЛКМ) находят в настоящее время широкое применение в строительстве. При воздействии высокой температуры толщина и объем покрытий на основе таких лакокрасочных материалов увеличиваются, и образуется твердый негорючий вспененный слой- пенококс. Как правило, рецептура огнезащитной краски содержит не менее 15 компонентов, которые должны совмещаться между собой и формировать отвержденное покрытие, обладающее хорошей адгезией и способностью к эффективному вспучиванию в условиях пожара [1]. Кроме того, очень важно сохранить свойства пигментированного материала в течение длительного срока хранения и предотвратить коагуляцию частиц дисперсной фазы с образованием более крупных агрегатов, следствием чего является расслоение краски.

Нами предложено ввести в рецептуру олигомерные поверхностноактивные вещества на основе олигоэфирфосфатов, синтезированных из эпоксидных олигомеров и ортофосфорной кислоты в среде различных реакционноспособных растворителей. За счет пространственной стабилизации ПЛКМ олигомерными ПАВ обеспечивается направленная дефлокуляция диспергированных пигментов.

Недостаточное загущение системы, либо не подходящий загуститель может также привести к седиментации частиц дисперсной фазы. Метилгидроксиэтилцеллюлоза (НЕМС) – это загуститель, который активизируется в составе моментально, изменяет его вязкость и вызывает ряд трудностей при дальнейшем введении пигментной части. НЕМС предложено заменить на загуститель пролонгированного действия (QD3000A). Загущение в водно-дисперсионных ПЛКМ таком случае происходит через некоторое время после изготовления состава, позволяя довести процесс в режиме более низких вязкостей. Проблема воздухововлечения в системе решена применением деаэратров и пеногасителей.

Нами предложены рабочие рецептуры модифицированных огнезащитных воднодисперсионных красок, на основе которых получены огнезащитные составы и исследованы свойства полученных ПЛКМ и покрытий на их основе.

Список литературы:

[1] Павлович А.В. Огнезащитные вспучивающиеся лакокрасочные покрытия / А. В.Павлович, А. С. Дринберг, Л. Н. Машляковский. - Москва : ЛКМ-пресс, 2018. - 487 с. : ил.

РАЗРАБОТКА И ИЗУЧЕНИЕ НОВЫХ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ АЦЕТАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Пузикова М.Е., Кузьминова А.И., Дубовенко Р.Р., Дмитренко М.Е., Пенькова А.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,
г. Санкт-Петербург
margosha.puzikova@gmail.com*

Ультрафильтрация один из наиболее развитых и распространенных мембранных методов, в котором разделение происходит на основе ситового механизма. К классическому полимерному материалу для изготовления ультрафильтрационных пленок относят ацетат целлюлозы (АЦ), который активно применяется начиная с 1960-х годов. Учитывая главный недостаток ультрафильтрационных мембран, а именно склонность к загрязнению, их модификация различными веществами, а также сочетание и варьирование свойств синтетических материалов, рассматривается как перспективный метод улучшения функциональных характеристик. Так, к одной из возможных стратегий относят создание мембран со смешанной матрицей (МСМ), в которых в матрицу полимера вносится органический и/или неорганический модификатор, что позволяет комбинировать ценные качества его компонентов.

В представленной работе в качестве модификаторов АЦ были использованы углеродные наночастицы: многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ), однослойные углеродные нанотрубки (ОУНТ), фуллерен (C_{60}) и оксид графена (ГО). Полученные композиты были охарактеризованы с использованием методов сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопий, а также измерением углов смачивания водой для оценки гидрофильно-гидрофобного баланса поверхности. Транспортные характеристики разработанных мембран были изучены в процессе ультрафильтрационного разделения раствора бычьего сывороточного альбумина. Мембраны со смешанной матрицей обладали улучшенной селективностью и/или производительностью по сравнению с немодифицированной мембраной, благодаря изменению внутренней структуры мембран и увеличению шероховатости поверхности мембран при введении углеродных наночастиц.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 20-79-10064, <https://rscf.ru/project/20-79-10064/>. Экспериментальная часть проводилась при участии ресурсных центров: Междисциплинарный ресурсный центр по направлению «Нанотехнологии», Термогравиметрические и калориметрические методы исследования, Криогенный отдел, Геомодель, Магнитно-резонансные методы исследования, Инновационные технологии композитных наноматериалов, Рентгенодифракционные методы исследования, Методы анализа состава вещества, Вычислительный центр СПбГУ, Физические методы исследования поверхности, Наноконструирование фотоактивных материалов Санкт-Петербургского Государственного Университета.

СТРУКТУРА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИСАХАРИДА НАТРИЙКАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ПОЛИАКРИЛАМИДА

Пулатова Ф.А., Асроров У.А., Ходжаева Н.К., Инагамов С.Я.

*Ташкентский фармацевтический институт, Ташкент, Узбекистан,
sabitjan1957@mail.ru*

Анализ международных литературных данных показывает, что полиэлектролитные комплексы (ПЭК) весьма перспективны, занимают важное место в технологии материалов, технике, медицине, других областях народного хозяйства, поскольку обнаруживают ряд уникальных и наиболее ценных свойств. Кроме того, способность многих полиэлектролитов взаимодействовать с другими полимерными соединениями открывает широкие перспективы в области модификации и управляемого синтеза макромолекулярных систем. Благодаря этому из большинства известных веществ, в принципе, можно получить совершенно новые материалы. В связи с этим данная работа посвящена исследованию структуры и физико-механических свойств ПЭК полученных на основе натрийкарбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) и полиакриламида (ПАА). В качестве основного объекта исследования была использована Na-КМЦ, полученная на основании ГОСТ 5.588-79, со степенью полимеризации (СП) - 70 и степенью замещения (СЗ) - 450. В качестве второго компонента ПЭК был использован полиакриламид - полиэлектролит, полученный на основе полимеризации акриламида, содержащего в своем составе элемент азот, который имеет линейно-разветвленную структуру. При смешивании водных растворов Na-КМЦ и ПАА в различных соотношениях компонентов при pH = 5-6 образуются водорастворимые ПЭК. Они образуются за счет взаимодействия между карбоксилатанионом Na-КМЦ и аминогруппами ПАА, на что указывают ИК-спектроскопические данные. Изменение интенсивности и смещение полосы поглощения в области 1667 см^{-1} , 1609 см^{-1} и в области 1407 см^{-1} , 1451 см^{-1} указывает на образование ионной связи между карбоксилат анионами Na-КМЦ и аминогруппами полиакриламида, что придает этому ПЭК новые свойства, отличающиеся от исходных компонентов. Приведенные выше результаты эксперимента подтверждены физико-механическими свойствами пленок ПЭК. Прочность пленок для Na-КМЦ – $\sigma_p=6,1$ МПа; для ПАА – $\sigma_p=22$ МПа, а для пленок ПЭК эквимольного состава прочность составляет $\sigma_p=38$ МПа. Удлинение при разрыве для Na-КМЦ – $\epsilon=5,1$ %; для ПАА – $\epsilon=4,0$ %, а для пленок ПЭК при эквимольном составе составляет $\epsilon = 0,5\%$. Модуль Юнга E для пленок Na-КМЦ равен $E=3,2$ МПа; для ПАА – $E=8,1$ МПа, а для пленок ПЭК при эквимольном составе составляет $E=73$ МПа. Все эти изменения в свойствах пленок полиэлектролитных комплексов связаны с образованием ионной связи между карбоксилат анионами Na-КМЦ (COO^-) и аминными группами полиакриламида, которые подтверждены ИК-спектроскопическими данными. Таким образом, был получен новый ПЭК на основе Na-КМЦ и ПАА. Установлено, что варьировании соотношения компонентов Na-КМЦ и ПАА можно управлять структурой и физико-механическими свойствами полиэлектролитных комплексов.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА АДСОРБЦИОННЫХ ПЛЕНОК ФИБРИЛЛ К-КАЗЕИНА

Рафикова А.Р.¹, Миляева О.Ю.¹, Носков Б.А.¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,
г. Санкт-Петербург
nasya.rafikova.2000@mail.ru

Многие пищевые белки способны легко превращаться в фибриллярные агрегаты [1], эффективные в качестве стабилизаторов пен и эмульсий [2]. Высокая стабилизирующая способность фибрилл обусловлена динамическими поверхностными свойствами их водных дисперсий. Динамическая поверхностная упругость и поверхностное натяжение дисперсий фибрилл к-казеина измерялись как функция времени жизни поверхности, степени очистки дисперсии, ионной силы раствора и концентрации агрегатов. Полученные результаты сравнивались с результатами для растворов нативного белка.

Показано, что пленки, образованные нативным к-казеином, имеют локальный максимум динамической поверхностной упругости (22 мН/м) при поверхностном давлении около 14 мН/м, что связано с вытеснением отдельных сегментов молекул белка в виде хвостов и петель в дальнюю область поверхностного слоя. Кинетические зависимости динамической поверхностной упругости дисперсий фибриллярных агрегатов к-казеина оказываются монотонными. При этом эта величина достигает высоких значений вплоть до 55 мН/м. Точка перегиба на кинетических зависимостях поверхностных свойств может быть связана с переходом между двумя стадиями формирования поверхностного слоя: адсорбцией низкомолекулярных пептидов и последующей адсорбцией фибрилл.

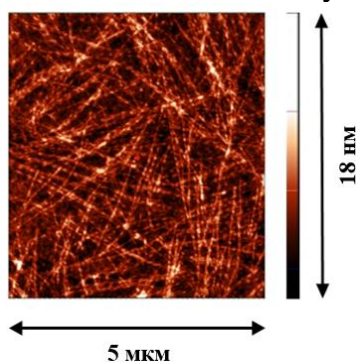


Рис.1. АСМ-изображение фибриллярных агрегатов к-казеина, полученных при рН = 2.0 и температуре 90°C.

Список литературы:

- [1] Cao Y., Mezzenga R. Adv. Colloid Interface Sci. **269**, 334 (2019).
[2] Li T., Wang L., Geng H., Zhang X., Chen Z. Food Chem. **354**, 129554 (2021).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-73-10021)

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ МЕТОДОМ 3D ПЕЧАТИ ПОЛИМЕРОВ И СОЗДАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ СИСТЕМ НА ИХ ОСНОВЕ

Рахманов А.А.¹, Липин В.А.¹, Бугров А.Н.²

¹*Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна*

²*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук*

При осуществлении трудовой деятельности на производстве, в быту, а также в условиях повышенной опасности, велика вероятность получения травм от падения и столкновения. Свыше 4 тысяч жителей одного города, ежегодно получают травмы в гололед, по стране этот показатель превышает 50 тысяч. Производственный травматизм составляет 25 тысяч человек в год, а бытовой – 140 тысяч. Так же большой процент занимает травматизм, вызванный колото-резанными и осколочными ранениями.

Поэтому в целях создания новых видов специальной одежды и средств индивидуальной защиты для рабочего персонала, применения в спорте и повседневной жизни, ведутся исследования по созданию аналогов зарубежным разработкам:

- Амортизирующих систем, аналогичных дилатантному материалу D3O и вискоэластикам. Полиуретановых решеток, изготавливаемых методом 3D печати;
- Противоосколочной защиты, получаемой методом 3D печати структур гексагонов нейлоном-66 на арамидной сетке;
- Составов композитной микрочаеистой структуры, посредством 3D печати с наполнением вискоэластиком, как основы каркасной защиты.

Данные структуры должны обладать упругими свойствами для амортизации нагрузок и высокой прочностью на разрыв. Проводились испытания фотополимерных смол, полимеров для fdm печати - полиамидов, полиуретанов и др. 3D печать на высокотемпературном принтере (400°C) позволила получать изделия из стеклонеполненного полиамида, прочность которого составляет 190 МПа, что в 4 раза превышает испытываемые образцы пластиков для обычной 3D печати (45-55 МПа). Термополиуретан для 3D-печати так же показал высокий предел прочности 47 МПа и относительное удлинение при разрыве 644%, что позволило печатать упругие демпферные решетки. Фотополимерные смолы с прочностью 65 МПа были использованы для создания тонких решеток, малых механизмов и приспособлений за счет высокой точности печати.

Целью работы является изучение зависимости деформационно-прочностных свойств полимеров от параметров 3D печати, получение композитов на основе кремнийорганических соединений, вискоэластиков, синтетических волокон и нетканых материалов, проведение физических испытаний разработанных систем.

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИХ ИОНИТОВ

Ф.Б. Эшкурбонов, Рахмонкулов Ж.Э., Абдурахмонов Ф.Р., Сафарова Э.Р.

В Термезском инженерно-технологическом институте разработаны технологические процессы получения новых комплексообразующих ионитов и ионообменных смол. По результатам обширных исследований и сведениям из многих литературных источников разработана технологическая схема сорбционной очистки с использованием комплексообразующих ионитов, полученных из сточных вод текстильного производства (рис. 1).

Очистка сточных вод по разработанному способу возможна при исходных концентрациях неорганических и органических загрязнителей 300 мг/дм³ и 700 мг/дм³ соответственно. С помощью этой технологии можно управлять очисткой сточных вод в оптимальных условиях, регулировать необходимое количество адсорбентов и контролировать протекание химической реакции до конца, и в целом полностью контролировать процесс очистки.

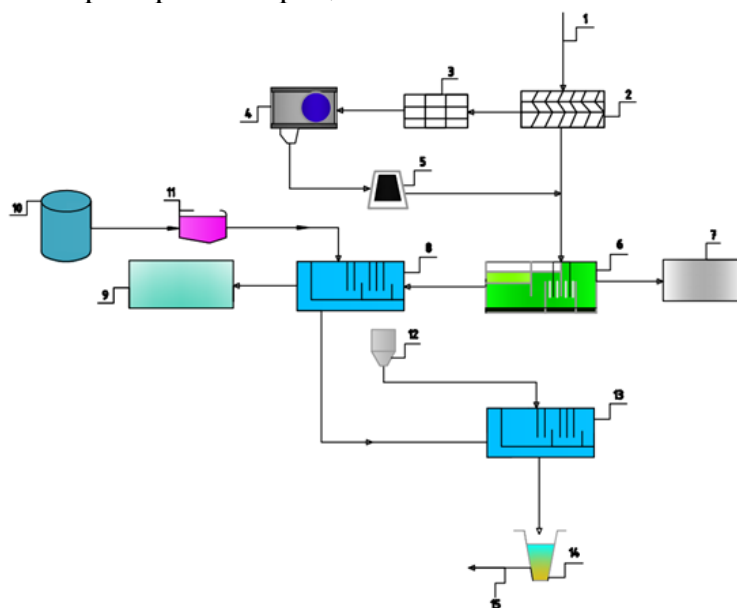


Рис. 1 – Технологическая схема сорбционной очистки сточных вод:

- 1) сточные воды; 2) заборы; 3) отходы; 4) измельчители; 5) пульпа; 6) смягчитель; 7) сухое осаждение; 8) смеситель; 9) горизонтальный фильтр; 10) способность к комплексообразованию ионита; 11) регулятор; 12) хлорированная вода; 13) контактный резервуар-смеситель; 14) дренажные воды; 15) место выхода.

На основании расчетов рассчитаны общие капитальные затраты на внедрение новых технологий и нового оборудования по очистке красильных сточных вод, а также ожидаемая эколого-экономическая эффективность (ЭЭО) их внедрения. Если учесть суточный расход 32 м³ сточных вод ООО «БАРАКАТ АЛЬФА», за срок службы очистных сооружений (48 лет) будет очищено 780 тыс. м³ воды. Капитальные затраты на строительство очистных сооружений ООО «БАРАКАТ АЛЬФА» в 2015,2 млн. руб. сум (в ценах 2021 года), а стоимость водоподготовки 41,05 сум/м³.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ИОННУЮ ПРОВОДИМОСТЬ ТВЕРДЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА

Ревенков А.Р., Завидов О.В., Климов В.В., Навроцкий А.В.

Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград
Ar-rev1@mail.ru

В современном мире стремительно увеличивается потребление литий-ионных аккумуляторов. Однако существуют проблемы с безопасностью таких устройств, поскольку конструкция классического литий-ионного аккумулятора подразумевает пропитку сепаратора жидким электролитом (раствором соли лития в апротонном растворителе), что может привести к ряду проблем, одной из которых является рост дендритов, кристаллообразных образований, способных повреждать целостность батареи. В качестве решения данной проблемы возможно, использование твердых полимерных электролитов (ТПЭ) с минимальным содержанием растворителя. Однако, таких электролиты обладают крайне низкой ионной проводимостью, по сравнению с традиционными «жидкими» электролитами, около 10^{-7} - 10^{-5} Ом*см⁻¹ против 10^{-2} Ом*см⁻¹. Одним из наиболее перспективных способов увеличения ионной проводимости ТПЭ, является использование композитных систем на основе смесевых полимерных матриц и добавок неорганических наполнителей. Такие наполнители могут увеличить количество свободных ионов в системе, повысить температуру стеклования, а также снизить энергию активации проводимости [1].

В данной работе исследовали влияние неорганического наполнителя на ионную проводимость ТПЭ. Для получения ТПЭ использовали: поливинилиденфторид (ПВДФ), полиглицидилметакрилат (ПГМА), поли-2-гидроксиэтилметакрилат (ПГЭМА), гексафторофосфат лития (LiPF₆), диметилформамид (ДМФА), оксид кремния (SiO₂) или оксид алюминия (Al₂O₃). ПГМА и ПГЭМА имеют в своём составе функциональные группы, способные координировать ионы лития. Органические наполнители вводили в состав композиции в количестве 5, 10, 15, 20, 25% масс. Сушку пленки проводили в среде инертного газа (азота) в течении 72 часов.

Таким образом, в работе изучено влияние природы и содержания неорганических наполнителей на ионную проводимость ТПЭ на основе смесевых полимерных матриц, ионная проводимость образцов при комнатной температуре составила до 10^{-3} Ом*см⁻¹.

Список литературы:

[1] Zhiwei Cheng, Tong Liu, Bin Zhao, Fei Shen, Haiyun Jin, Xiaogang Han. En. Stor. Mat. **34**, 388-416 (2021).

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FZUC-2023-0003 на основании соглашения № 075-03-2023-055 от 13.01.2023).

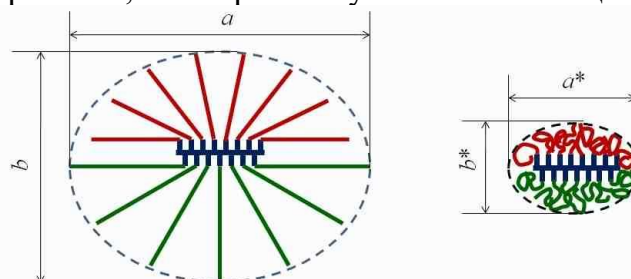
2-P-68

КОНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АЛЬТЕРНАТНЫХ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЩЕТОК

Родченко С.В., Блохин А.Н., Разина А.Б., Кирилэ Т.Ю., Козина Н.Д., Филиппов А.П., Теньковцев А.В.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, Россия, 199004, В.О., Большой пр., д. 31
srfm.rodchenko@gmail.com*

Среди термочувствительных полимеров особое место занимают поли-2-алкил-2-оксазолины (ПАОЗ), которые благодаря своей биосовместимости и стабильности в биологических средах могут применяться для разработки систем доставки биологически активных веществ к поврежденным органам и тканям [1,2]. Известно, что привитые сополимеры имеют хорошие перспективы применения в медицинских приложениях [3,4]. Целью работы являлось установление влияния строения и архитектуры альтернатных полимерных щеток с регулярно привитыми ПАОЗ цепями на их поведение в разбавленных растворах. Использованы методы рассеяния света, вискозиметрии и рефрактометрии. Исследования проведены в органических растворителях, в которых отсутствовали ассоциативные явления.



Изученные полимерные щетки имеют достаточно низкую степень полимеризации основной цепи, а количество боковых цепей составляет от 10 до 20 со степенью полимеризации от 5.6 до 6.6. Анализ конформации макромолекул по данным светорассеяния и вискозиметрии показал, что макромолекулы альтернатных щеток имеют форму, близкую к эллипсоидальной с низкой асимметрией. Установлена высокая внутримолекулярная плотность макромолекул и сильная свернутость боковых цепей.

Список литературы:

- [1] Hoogenboom R., Schlaad H. *Polym. Chem.* **8**, 24 (2017).
- [2] Glassner M., Vergaelen M., Hoogenboom R. *Polym. Int.* **67**, 32 (2018).
- [3] Schenk, V.; Rossegger, E.; Ebner, C.; Bangerl, F.; Reichmann, K.; Hoffmann, B.; Höpfner, M.; Wiesbrock, F. *Polymers* **6**, 264 (2014).
- [4] Luef, K. P.; Petit, C.; Ottersböck, B.; Oreski, G.; Ehrenfeld, F.; Grassl, B.; Reynaud, S.; Wiesbrock, F. *Eur. Polym. J.* **88**, 701 (2017).

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-23-00079, <https://rscf.ru/project/23-23-00079/>.

ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ ОСНОВНОЙ ЦЕПИ НА СВОЙСТВА МОЛЕКУЛЯРНЫХ ЩЕТОК С БОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ ПОЛИМЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И ОСНОВНОЙ ПОЛИФЛУОРЕНОВОЙ ЦЕПЬЮ В РАСТВОРАХ

Ромашева М.М., Симонова М.А., Каскевич К.И., Зеленцов М.Д.,
Якиманский А.В., Филиппов А.П.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
mariasimonova1983@mail.ru*

Методом радикальной полимеризации с переносом атома были получены молекулярные щетки с основной полифлуореновой (ПФ) цепью и боковыми цепями полиметакриловой кислоты (ПМАК). Степень прививки боковых цепей была около 95 процентов. Исследуемые полимеры различались длиной основной ПФ цепи.

Цель работы изучение влияния длины основной цепи и влияние длины боковых цепей на спектральные и конформационные характеристики молекулярных щеток ПФ-прив-ПМАК1 - ПФ-прив-ПМАК4 в разбавленных растворах.

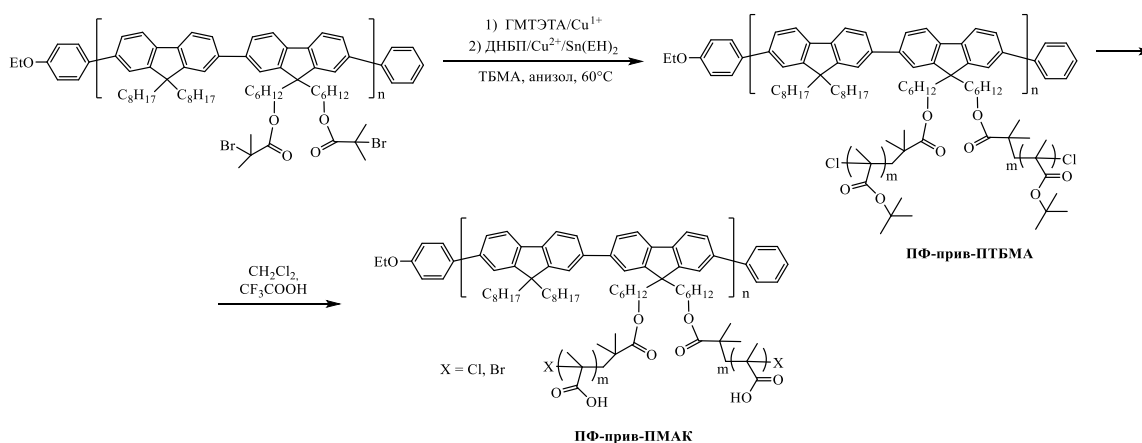


Рис. 1 – Схема получения полимеров.

В ходе проведенных исследований методом статического, динамического рассеяния света (вода, этанол, ДМФА) и люминесценции установлено, что существует оптимальная длина боковых цепей ПМАК, при которой полимеры растворяются. Так для полимерных щеток ПФ-прив-ПМАК2 и ПФ-прив-ПМАК3 со средними значениями длины боковых цепей наблюдается лучшая растворимость в воде. В случае длинных боковых цепей ПФ-прив-ПМАК4 и самых коротких ПФ-прив-ПМАК1 растворимость у полимеров исчезает.

Методом люминесцентной микроскопии было подтверждено, что мицеллы ПФ-прив-ПМАК2,3 способны инкапсулировать куркумин. При увеличении длины основной цепи увеличиваются размеры мицелл. Однако размеры мицелл, нагруженных куркумином, при увеличении содержания последнего в комплексах, не изменяются.

**ПОЛУЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКО-ХИМИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ПОРОШКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ОДНОЛЕТНЕГО
ТРЯВЯНИСТОГО РАСТЕНИЯ HELIANTHUS TUBEROSUS**

Ромашева М.М., Демьянцева Е.Ю., Смит Р.А.

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий
и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,
г. Санкт-Петербург
Rita.romasheva@gmail.com*

Порошковая целлюлоза – продукт деструкции целлюлозы, широко применяемый в химической, фармацевтической и пищевой промышленности [1]. Топинамбур является быстрорастущим растением, клубни которого применяют для получения сиропов и пищевых добавок, при этом стебли утилизируют, однако содержание целлюлозы в них может достигать 40% [2].

В данной работе качестве сырья были использованы стебли топинамбура, собранные в октябре в черте города Санкт-Петербурга после естественного засыхания. Навеску подвергли размолу в роторном дезинтеграторе в течение 3 минут, затем провели предгидролизную обработку водным раствором H_2O_2 9% и уксусной кислотой 10% при температуре 90 °С в течение 120 минут при гидромодуле 1:8. Порошковая целлюлоза получена при температуре 110 °С в течение 60 минут надуксусной кислотой, содержащей 3 моль/дм³ H_2O_2 , 4 моль/дм³ и 0,06-0,7 моль/дм³ H_2SO_4 [3].

Выход продукта составил 81% от абсолютно сухого материала. Распределение по размерам частиц находится в широком диапазоне 50-1000 мкм. Сложность определения размеров частиц заключается в том, что частицы имеют тенденцию слипаться, образуя крупные агрегаты. Содержание целлюлозы по методу Кюршнера 60% и лигнина Комарова –20%. При этом степень полимеризации варьируется в диапазоне 60 – 640 в зависимости от степени дисперсности.

Список литературы:

[1] *Просвирников Д. Б., Ахметшин И. Р., Гайнуллина Д. Ш., Просвирникова Т. Д.*, Вестник Казанского технологического университета, Способы получения и области применения порошковой целлюлозы, 2014

[2] *Каримова С.С., Кедельбаев Б.Ш., Лаханова К.М.* Исследования химического состава твердого остатка топинамбура, Научные исследования, открытия и развитие технологий в современной науке сборник материалов XX-ой международной очно-заочной научно-практической конференции. Том 2. 2019, с. 239-241.

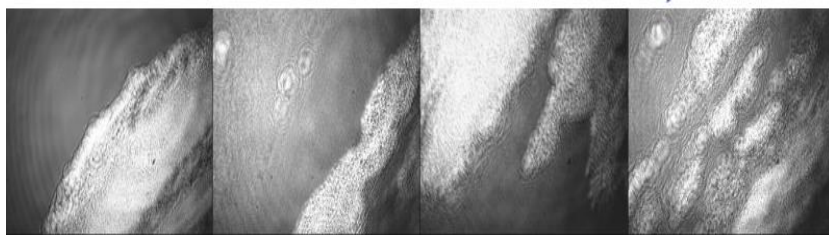
[3] *Способ получения микрокристаллической целлюлозы: пат. RU 2178033, МПК D21C 1/04, C08B 15/00. № 2006126226; заявл. 04.08.1999; опубл. 10.01.2002. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2312110C1_20071210 (дата обращения: 03.03.2019)*

НАНЕСЕННЫЕ ПЛЕНКИ СФЕРИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ БСА НА ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ

Ротанова К.Ю., Миляева О.Ю., Носков Б.А.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Химии,
г. Санкт-Петербург
o.milyaeva@spbu.ru*

Белковые агрегаты широко распространены в природе и могут найти многочисленные применения в биомедицине, фармацевтической и пищевой промышленности [1]. Большинство исследованных белковых агрегатов способны образовывать прочные сетки на границе жидкость-газ, обладающие высокой упругостью [2]. Поверхностные свойства и морфология нанесённых пленок сферических агрегатов бычьего сывороточного альбумина (БСА) определялись с помощью метода осциллирующего барьера, эллипсометрии и различных видов микроскопии. Влияние агрегатов БСА на поверхностные свойства пленок оказывается заметным только при высоких поверхностных давлениях (свыше 15 мН/м). В этом случае динамическая поверхностная упругость значительно превышает значения для чистого белка и может достигать 140 мН/м. На зависимостях поверхностной упругости от поверхностного давления можно выделить три характерных участка, ранее наблюдавшихся также для пленок твердых наночастиц. При нанесении на поверхность жидкости агрегаты БСА не распределяются вдоль поверхности, а находятся в форме крупных кластеров, сосуществующих с участками поверхности жидкости с низкой концентрацией агрегатов, что подтверждается результатами СЭМ, АСМ и микроскопии при угле Брюстера.



Увеличение объема нанесенной дисперсии

Рис. 1 - Изображения микроскопии при угле Брюстера для нанесенной на поверхность 0,1 М NaCl дисперсии сферических агрегатов БСА.

Список литературы:

- [1] Wei G., Su Z., Reynolds N.P., Arosio P., Hamley I.W., Gazitf E., Mezzenga R. *Chem. Soc. Rev.* **46** (15), 4661 (2017).
[2] Milyaeva O.Yu., Akentiev A.V., Bykov A.G., Lin S.-Y., Loglio G., Miller R., Michailov A.V., Rotanova K.Yu., Noskov B.A. *Polymers* **14**, 3979 (2022).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-73-10021).

ВЛИЯНИЕ КОРУНДОВЫХ МИКРОСФЕР НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПРОПИЛЕНОКСИДНОГО КАУЧУКА

Румянцева А.В., Котелкова Е.О., Большунова Е.А., Суханова Т.Е.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение "Ордена Ленина и Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт синтетического каучука имени академика С. В. Лебедева" (ФГБУ НИИСК)
г. Санкт-Петербург
aguta1607@inbox.ru*

В настоящее время пропиленоксидный каучук (СКПО) является одним из наиболее морозостойких каучуков на мировом рынке. Для успешного использования в условиях Арктики и Крайнего Севера важной характеристикой является также высокая износостойкость резин на основе СКПО. Для этой цели в резиновые смеси вводят разные антифрикционные добавки и специальные наполнители. Ранее было показано, что введение полых микросфер оксида алюминия (корундовых микросфер) различных размеров в количестве от 1 до 15 масс.ч. приводит к повышению износостойкости и значительному снижению коэффициента трения композиций на основе бутадиен-нитрильного, изопренового и бутадиен-альфа-метилстирольного каучуков [1], бутадиен-нитрильного каучука [2] или перфторированного каучука «Неофтон-Н» [3]. Однако, при этом снижаются прочностные характеристики и относительное удлинение при разрыве, в некоторых случаях происходит повышение твердости и значения остаточной деформации после сжатия (ОДС) наполненных резин.

В нашей работе в качестве наполнителя, способного улучшить износостойкость резин на основе СКПО, были выбраны полые корундовые микросферы Hollow Corundum Microspheres со средним диаметром 40 мкм (НСМ-40, ООО «Кит-Строй СПб», Россия).

Установлено, что введение микросфер НСМ-40 в небольших количествах (от 0.5 до 2 масс.ч.) не оказывает влияния на вулканизационные характеристики резиновых смесей. Напротив, при этом значительно увеличивается прочность при разрушении (на 40%) и относительное удлинение при разрыве (на 120%). Следует отметить, что модуль упругости, твердость, ОДС и коэффициент морозостойкости наполненных резин и остаются на прежнем уровне. Также введение микросфер НСМ-40 не оказывает заметного влияния на свойства наполненных резин после термостарения (при 150°C x 24 часа).

Список литературы:

- [1] Ушмарин Н.Ф., Егоров Е.Н., Кольцов Н.И. Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология», Иваново. Т. 64. Вып. 2. С. 49-55. (2021)
- [2] Седых В.А., Карманова О.В., Королева Е.В. Вестник ВГУИТ. Воронеж. Т. 80. Вып. 3. С. 323-329. (2018)
- [3] Цыпкина И.М., Волкова М.А., Лебедев Н.В., Надервель Т.А. Каучук и резина. Т. 80, № 3. - С. 124-128. (2021)

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НЕИОНОГЕННЫХ ПАВ НА СВОЙСТВА ПОЛИУРЕТАНМОЧЕВИННЫХ ПЛЕНОК

Савчук А.В., Сеничев В.Ю.

*Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь
ataraksa@mail.ru*

Эластомеры на основе полиуретанмочевин (ПУМ) представляют собой универсальные материалы, которые могут быть использованы во многих областях промышленности. Один из способов получения изделий из ПУМ - это отверждение их в среде растворителя, что позволяет получить тонкую полимерную пленку. ПУМ эластомеры обладают двухфазной микроструктурой, вызванной большой разницей в параметрах растворимости гибких и жестких блоков, что приводит к их фазовому разделению. Однако наличие фазового разделения снижает прозрачность пленок, что ограничивает их использование в качестве защитных покрытий для оптических приборов, линз и т.д. Для решения этой проблемы и придания ПУМ пленкам прозрачности, в качестве диизоцианата был использован 4,4'-диизоцианатодигексилметан (Г-МДИ). Известно, что эластомеры, приготовленные непосредственно из коммерческого Г-МДИ, имеют небольшую кристалличность или вообще не имеют кристалличности из-за малого содержания транс-транс изомеров, что приводит к получению прозрачных полимеров [1]. Одним из важных аспектов при получении пленок является повышение смачиваемости их поверхности водой, что может быть достигнуто изменением их структуры или использованием поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Для синтеза уретанового форполимера в качестве олигоэфира были использованы полидиэтиленгликольадипинат (ММ = 800 г/моль) и полиэтиленбутиленгликольадипинат (ММ=1988 г/моль). В качестве отвердителя был выбран 3,3-дихлор-4,4-диаминодифенилметан. Для придания полимерам гидрофильных свойств были использованы неионогенные ПАВ. В данном случае были выбраны неонол 9/10, неонол 9/12, АЛМ-7, АЛМ-10 и АФ-9-2. В качестве растворителей была использована смесь из ацетона, толуола и метилэтилкетона.

Было обнаружено, что использование АФ-9-25 позволило существенно снизить краевой угол смачивания практически в три раза, что может быть эффективно использовано в покрытиях, адгезивах и т.д. Однако, важно отметить, что при использовании АФ-9-25 произошло снижение условной прочности ПУМ пленок, в меньшей степени чем под воздействием других ПАВ. Таким образом, комбинация указанных компонентов позволяют получить гидрофильные прозрачные ПУМ пленки.

Список литературы:

[1] Adhikari, R., Gunatillake, P. A., Meijs, G. F., McCarthy, S. J. J. Appl. Polym. Sci. **73**, (4), 573-582 (1999)

ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ОРГАНО-НЕОГАНИЧЕСКИХ СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИТИТАНОКСИДА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ОКСИДОМ ЦИРКОНИЯ

Саломатина Е.В., Шелудько П.Н., Фукина Д.Г., Смирнова Л.А.

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород
salomatina_ev@mail.ru*

Рабочий диапазон длин волн наиболее распространённого на данный момент фотокатализатора – TiO_2 анатазной полиморфной модификации – представлен лишь УФ-областью спектра в связи с его достаточно широкой запрещенной зоной (ШЗЗ) – 3,2 эВ. Вследствие этого квантовый выход реакции $\text{Ti}^{4+} + e^- \rightarrow \text{Ti}^{3+}$, результатом которой является образование активных радикалов и окисление органических загрязнителей окружающей среды, не превышает 20%. Увеличение фотокаталитической активности TiO_2 при применении видимого излучения достигается благодаря его наноструктурированию, получению пористых металлоорганических сеток и уменьшению величины его ШЗЗ за счет различных добавок. Известно, что модификация TiO_2 с помощью ZrO_2 приводит к появлению кислородных дефектов на поверхности TiO_2 и снижению ШЗЗ композитов вплоть до 1,49 эВ. Целью работы является изучение фотокаталитической активности органо-неорганических сополимеров, содержащих полититаноксид (ПТО), легированный ZrO_2 . Были получены оптически прозрачные пленки сополимеров различного состава на основе алкоксидов титана, циркония, гидроксипропилметакрилата и гидроксипропилметакрилата полимеризационно-поликонденсационным методом. Методом рентгенофазового анализа установлено, что ПТО в материалах формируется в виде частиц не более 20 нм преимущественно по типу анатаза. При УФ-облучении образцов в их спектрах происходит появление и нарастание полосы поглощения в области 600-700 нм, что свидетельствует о способности ПТО к одноэлектронному переходу $\text{Ti}^{4+} + e^- \rightarrow \text{Ti}^{3+}$. Скорость процесса зависит от соотношения компонентов в сополимере. Вместе с тем были получены спектры диффузного отражения сополимеров, которые далее были преобразованы по методу Тауца и проанализированы с использованием функции Кубелки-Мунка. В результате установлено, что введение в состав композита ZrO_2 в данном случае приводит к снижению ШЗЗ ПТО с 3,35 эВ до ~ 2 эВ. Фотокаталитическая активность сополимеров была изучена в реакции разложения метиленового оранжевого и фенола в водной среде. Показано, что при воздействии УФ-излучения на раствор азо-красителя в присутствии разработанных материалов происходит снижение его концентрации на 73% за 240 минут. Более того материал демонстрирует фотокаталитическую активность и при воздействии видимого света (400 – 700 нм) в нескольких циклах использования. Анализ воды после проведения экспериментов показал его снижение в 10 раз общего содержания углерода в ней. Методом ИК-спектроскопии было показано, что происходит окисление органических загрязнителей воды вплоть до CO_2 и H_2O .

Благодарности Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 23-74-10069).

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ НЕНАСЫЩЕННОГО ПОЛИКЕТОНА И ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ ЭПОКСИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ

Сидоров О.И.¹, Беляков Д.А.¹, Дубков К.А.², Плешаков Д.В.³, Шантарович В.П.⁴

¹ФГУП «ФЦДТ «Союз», Московская обл., г. Дзержинский

²ИК СО РАН им. Г. К. Борескова, г. Новосибирск

³РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва

⁴ФИЦ ХФ РАН, г. Москва

Для современной техники необходимы масло- морозостойкие полимерные материалы. В связи с этим создан полимерный материал на основе олигомера – нового типа ненасыщенного поликетона и смеси хлорсодержащих эпоксидных олигомеров. [1, 2] Отверждение ненасыщенного поликетона осуществляется хиноловым эфиром, а отверждение эпоксидных олигомеров осуществляется изометилтетрагидрофталевым ангидридом в присутствии катализатора отверждения ионной жидкости. Исследованы структура и свойства полимерного материала. Механические характеристики полимерных материалов при температурах - 50 °С и + 50 °С составляют: прочность при разрыве 3,48 МПа и 0,51 МПа; деформация при разрыве 40,6 % и 16,6 % соответственно. Полимерный материал имеет две температуры стеклования - 68,7 °С и + 64,6 °С. Методом аннигиляции позитронов установлено, что полимерный материал имеет микропоры (элементарный свободный объем) размерами 0,29 нм и 0,36 нм. Установлено, что полимерный материал на основе ненасыщенного поликетона и хлорсодержащих эпоксидных олигомеров при 70°С имеет величину набухания в минеральном масле 5,2 %.

Список литературы:

- [1] Сидоров О.И., Беляков Д.А., Дубков К.А., Семиколенов С.В., Плешаков Д.В. Клеи. Герметики. Технологии, **6**, 12 (2023),
[2] O.I. Sidorov, D.A. Belyakov, K.A. Dubkov, S.V. Semikolenov, The 8th Asian Symposium on Advanced Materials, Novosibirsk, Russia (2023), 422.

Благодарности

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-23-00310. <http://rscf.ru/project/23-23-00310/>.

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ МЕДИ НА ПОВЕДЕНИЕ ДИБЛОК-СОПОЛИМЕРА N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА И АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ В ВОДЕ

Силантьева Е.В., Реут Е.А., Лобанова Н.А., Погорелый А.М., Серхачева Н.С.

*МИРЭА-Российский технологический университет, институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова, г. Москва
sil.liza02@mail.ru*

Сегодня существует много примеров применения термочувствительных и рН-чувствительных полимерных систем в качестве «умных» адсорбентов для очистки воды от ионов тяжелых металлов, например, ионов меди (Cu^{2+}). Водные дисперсии амфифильных блок-сополимеров, имеющие в составе блоки термо- и рН-чувствительных полимеров могут быть использованы для этой цели. Примерами таких блок-сополимеров могут быть блок-сополимеры, имеющие в составе термочувствительный блок поли(N-изопропилакриламида) (ПНИПАМ) и рН-чувствительный блок полиакриловой кислоты (ПАК). Сегменты АК взаимодействуют ионами Cu^{2+} и при повышении температуры раствора, образуя смешанные агрегаты ПНИПАМ-блок-ПАК/ Cu^{2+} , способные в дальнейшем агрегировать и/или выпадать в осадок, что облегчает их удаление из водной среды с помощью фильтрации [1].

Диблок-сополимер синтезировали полимеризацией НИПАМ с обратимой передачей цепи по механизму присоединения-фрагментации под действием полиакриловой кислоты с тритиокарбонатной группой на конце цепи в 1,4-диоксане, иницируемой динитрилом азоизомаляной кислоты. Диблок-сополимер ПАК-блок-ПНИПАМ с ТТК-группой на конце цепи характеризовался $M_n \sim 10600$, $M_w/M_n \sim 1.23$. Наиболее вероятно, что в воде блок-сополимер будет формировать частицы с морфологией «ядро-корона», причем роль ядра будет выполнять блок ПНИПАМ, а роль короны - ПАК.

К раствору соли CuSO_4 (1 М) добавляли заданные объемы раствора блок-сополимера (0.05 мМ), перемешивали в течение 30 минут и далее выдерживали при температуре: 10, 25 и 40 °С. С возрастанием концентрации сополимера средний диаметр частиц сначала увеличивается с 27 нм до 3800 нм, а затем уменьшается до 120 нм, причем с увеличением температуры до 40 °С эта тенденция усиливается. Как мы полагаем, образующиеся в результате комплексообразования и потери растворимости блока ПНИПАМ агрегаты формируются достаточно быстро. После нагревания до 40 °С диблок-сополимер образует крупные хлопья, которые легко удаляются с помощью фильтрации. Причем раствор, который содержит сополимер имеет более бледную окраску, чем исходный раствор соли. При 10 °С раствор становился лишь слегка мутным.

Список литературы:

[1] *Kafetzi M., Borchert K.B.L., Steinbach C., Schwarz D., Pispas S., Schwarz S. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 614. 126049 (2021)*

**СТРУКТУРНО-КОНФОРМАЦИОННЫЕ И
ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СОПОЛИМЕРОВ НА
ОСНОВЕ ОЛИГООКСИАЛКИЛЕНОВЫХ МОНОМЕРОВ**

Симонова М.А.¹, Садков Д.А.², Каморин Д.М.³, Казанцев О.А.³, Филиппов А.П.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Высшая школа технологии и энергетики, г. Санкт-Петербург*

³*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
г. Нижний Новгород
mariasimonova1983@mail.ru*

Образцы полимеров на основе олигооксиалкиленовых мономеров, содержащими в составе звенья N-[3-(диметиламино)пропил]метакриламида синтезированы методом прививки «через». Содержание звеньев в составе сополимеров варьировалось от 5 до 20 процентов.

Методами статического, динамического рассеяния света и вискозиметрии в разбавленных водных и водно-солевых растворах, а также в органических растворителях (ацетонитрил, ДМФА) определены молекулярно-массовые, гидродинамические характеристики и структурно-конформационные свойства сополимеров в растворах.

Выявлено влияние природы растворителя на поведение сополимеров: молекулярно-дисперсные растворы получены в ацетонитриле и ДМФА. В первом приближении макромолекулы полимерных щеток можно моделировать эллипсоидом вытянутого вращения или сфероцилиндром. Установлено что, термо- и рН-чувствительные полимерные щетки продемонстрировали термо- и рН-чувствительность в водных растворах. 5. Показано, что при заданной молекулярной массе и близких значениях рН увеличение содержания звеньев N-[3-(диметиламино)пропил]метакриламида приводит к росту температур фазового разделения.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ПРОВОДЯЩИХ ПОЛИМЕРОВ

Ситникова А.О.^{1,2}, Капралова В.М.², Сударь Н.Т.²

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург
alolsitn@gmail.com*

Полимер поливинилиденфторид (ПВДФ) и его сополимер с трифторэтиленом (ПВДФ-ТрФЭ) представляют особый интерес для исследований, так как являются биосовместимыми пьезоэлектриками. Благодаря сочетанию этих свойств данный сополимер применяют для регенерации нервных окончаний [1]. Сравнительный анализ диэлектрических характеристик различных видов данного сополимера, например, пленок и волокон на основе ПВДФ-ТрФЭ позволяет получить сведения о различиях в морфологии данных материалов, которые необходимы при разработке новых способов их практического использования. Покрытие волокон сополимера ПВДФ-ТрФЭ различными проводящими полимерами, например, полипирролом (ППир) и полианилином (ПАНИ) позволяет увеличить электропроводность исходного материала и в результате расширить спектр его применения [2]. Однако на данный момент возможность варьирования свойств данного композиционного материала в зависимости от кислотности среды до конца не изучена, что и инициировало проведение данного исследования. Поэтому в данной работе методом импедансной спектроскопии проведено сравнительное экспериментальное исследование диэлектрических свойств пленок на основе ПВДФ и ПВДФ-ТрФЭ, а также волокнистых образцов, изготовленных из ПВДФ-ТрФЭ. Также исследованы и проанализированы диэлектрические свойства биосовместимых полимерных композиционных материалов на основе волокон сополимера ПВДФ-ТрФЭ, модифицированных путем покрытия различными проводящими полимерами (ППир и ПАНИ), и исследован диэлектрический отклик синтезированных композитов на среды с различным значением кислотности (рН=1.6 и рН=11.2). Обнаружено, что для исследованных композитов на основе пьезоэлектрического и проводящего полимеров характерно наличие сильной зависимости значений емкости от кислотности среды. Полученные результаты могут служить основой для создания рабочих элементов новых сенсоров медицинского назначения, реагирующих на кислотность среды.

Список литературы:

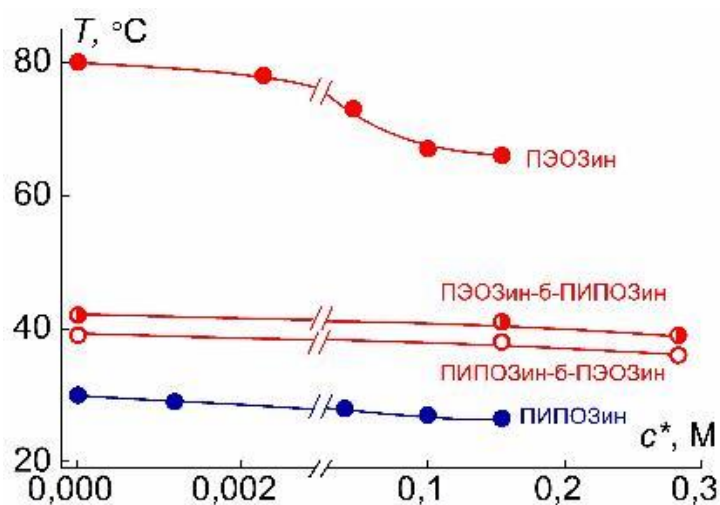
- [1] *Tretiakov A., Kapralova V.M., Sudar N.T., Gryshkov O., Glasmacher B.* Int. J. Artif. Organs. **8**, 403, (2019).
- [2] *Матреничев В.В., Шишов М.А., Попрядухин П.В., Сапурина И.Ю., Иванькова Е.М., Добровольская И.П., Юдин В.Е.* Журнал прикладной химии. **90**, вып.10, 1365-1370, (2017).

ПОВЕДЕНИЕ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИ-2-АЛКИЛ-5,6-ДИГИДРООКСАЗИНОВ В ВОДНО-СОЛЕВЫХ РАСТВОРАХ

Смирнова А.В., Кирилэ Т.Ю., Родченко С.В., Козина Н.Д., Теньковцев А.В.
Филиппов А.П.

Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург,
199004, Россия, г. Санкт-Петербург, В.О. Большой пр., д. 31.
av.smirnova536@gmail.com

В условиях живой катионной полимеризации с раскрытием цикла синтезированы блок-сополимеры поли-2-этил-2-оксазина и поли-2-изопропил-2-оксазина. Молекулярно-массовые и гидродинамические характеристики линейных блок-сополимеров определены в органических растворителях методами ГПХ, статического и динамического рассеяния света. Термочувствительность блок-сополимеров в водно-солевых растворах изучены методами светорассеяния и турбидиметрии. Для блок-сополимеров полиоксазинов температуры фазового перехода T лежат между температурами, полученными ранее для линейных гомополимеров ПЭОЗин [1] и ПИПОЗин [2]. При переходе от водного раствора к физиологическому наблюдается незначительное снижение температур фазового перехода.



Список литературы:

[1] Smirnova A.V., Kirila T.Y., Dudkina M.M., Tenkovtsev A.V., Filippov A.P. Mendeleev Commun. **30**(6), 802 (2020).

[2] Смирнова А.В. Конформационное поведение линейных и звездообразных полидигидрооксазинов и фазовое разделение в их водно-солевых растворах. Автореферат. ... к. ф.-м. н. СПб, ИВС РАН, 23 (2022).

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-13-00205, <https://rscf.ru/project/23-13-00205/>.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА В РАСТВОРАХ И ПЛЕНКАХ АМФИФИЛЬНЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ СТИРОЛА С ПОЛЯРНЫМИ БЛОКАМИ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

Сундарева Ю.А.¹, Лукичев И.С.¹, Пикулин А.В.², Лудин Д.В.³, Саломатина Е.В.¹,
Смирнова Л.А.¹

¹Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
г. Нижний Новгород

²Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

³Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы
Минина, Нижний Новгород, Россия
salomatina_ev@mail.ru

Полимерные материалы, содержащие наночастицы (НЧ) Au, находятся в центре внимания исследователей в силу уникальных каталитических, магнитных, электрических и других свойств НЧ. Среди эффективных полимерных стабилизаторов НЧ особое место занимают амфифильные блок-сополимеры (АБС). Они способны к самоорганизации в различные структуры в селективных растворителях, создавая центры соответствующие центры концентрации прекурсора НЧ, а, следовательно, влияя на их размер и форму.

Целью данной работы является разработка способа получения АБС стирола с 4-винилпиридином (4ВП) и N,N-диметиламиноэтилметакрилатом (ДМАЭМА) методом традиционной радикальной полимеризации с использованием реакции передачи цепи на Si-содержащие силаны в присутствии этилбензолхромтрикарбонила. Показано, что молекулярную массу блоков в сополимерах можно варьировать, изменяя последовательность стадий полимеризации полярного и неполярного мономеров благодаря различной реакционной способности их макрорадикалов в реакциях передачи цепи. Методом атомно-силовой микроскопии установлено, что природа гидрофильного блока и его молекулярная масса обуславливает особенности структурной самоорганизации АБС в пленках. Для блок-сополимеров с 4ВП характерно образование шарообразных мицелл и везикул, а в случае ДМАЭМА – вертикально ориентированной укладки ламелей канального типа. При увеличении длины блока полистирола происходит укрупнение (размытие) структур. Выявлено существенное влияние молекулярной массы, природы блоков и растворителей на размерные характеристики НЧ Au при формировании их в растворах и пленках при УФ-восстановлении HAuCl_4 . Так, при получении НЧ Au в растворах АБС с блоком поли(4ВП), когда сополимеры образуют шарообразные мицеллы, наночастицы Au имеют размер ~ 2 нм, с блоком поли(ДМАЭМА) ~ 30 нм.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 23-74-10069).

РАЗРАБОТКА И ИЗУЧЕНИЕ ПЛЕНОК ИЗ КАРРАГИНАНА/КРАХМАЛА, АРМИРОВАННЫХ НАНОЦЕЛЛЮЛОЗОЙ И ГЕЛЕМ АЛОЭ ВЕРА, ДЛЯ УПАКОВКИ И ХРАНЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Сушкова К.Д., Дмитренко М.Е., Дубовенко Р.Р., Кузьмина А.И., Пенькова А.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
st111000@student.spbu.ru*

В настоящее время большая часть пищевой продукции в мире упаковывается в материалы, которые практически не подвергаются биологическому разложению, а их переработка весьма трудоёмка и дорогостояща. Поиск и внедрение в промышленность биоразлагаемых материалов, созданных с использованием дешевого, экологически чистого и возобновляемого сырья, является актуальной задачей для многих отраслей. Перспективным кандидатом на роль такого сырья является крахмал, который в сочетании своих полезных качеств, невысокой стоимости и возможности создания биокompозитов с заданными свойствами, в скором времени может стать серьезной альтернативой традиционным материалам. В рамках представленной работы были разработаны и исследованы биоразлагаемые пленки на основе каррагинана и крахмала, армированные наноцеллюлозой и гелем алоэ вера, для перспективного применения их в качестве упаковочного материала. Наноцеллюлоза и гель алоэ вера были включены в состав для улучшения механических и антибактериальных свойств, соответственно. Также, были добавлены в состав пленок глицерин и кунжутное масло в качестве пластификаторов для улучшения влагостойкости и механических характеристик. Структура и физико-химические свойства плёнок были изучены с помощью ИК-Фурье-спектроскопии, сканирующей электронной (СЭМ) и атомно-силовой (АСМ) микроскопий, термогравиметрического анализа (ТГА), измерения краевого угла и механических свойств. Введение в состав наноцеллюлозы и глицерина привело к образованию более плотной структуры плёнки, а также к повышению гибкости. Поверхность, в свою очередь, стала более гладкой и гидрофильной. Исследование паро- и маслопроницаемости, влагопоглощения и растворимости в воде для пленки с оптимальным составом показало удовлетворительные свойства для перспективного производства биоразлагаемых упаковочных материалов.

Благодарности *Исследование выполнено при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Министерства науки и высшего образования РФ, грант № 075-15-2022-1231 от 18.10.2022. Экспериментальная часть проводилась при участии ресурсных центров: Междисциплинарный ресурсный центр по направлению «Нанотехнологии», Термогравиметрические и калориметрические методы исследования, Криогенный отдел, Геомодель, Магнитно-резонансные методы исследования, Инновационные технологии композитных наноматериалов, Рентгенодифракционные методы исследования, Методы анализа состава вещества, Физические методы исследования поверхности, Наноконструирование фотоактивных материалов Санкт-Петербургского Государственного Университета.*

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА, СТРУКТУРА И ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ КАРБОКСИМЕТИЛПУЛЛУЛАНА С ПРИВИТЫМИ ЦЕПЯМИ АКРИЛАМИДОВ

Тарабукина Е.Б.¹, Красова А.С.¹, Филиппов А.П.¹, Constantin M.², Ailiesei G.²
Fundueanu G.²

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург, Россия*

²*„Petru Poni” Institute of Macromolecular Chemistry, Iasi, Romania
len.ta@mail.ru*

Стимул-чувствительные полимеры перспективны для имитации поведения живых тканей и систем. Они способны реагировать на слабые изменения параметров окружающей среды, таких как температура и/или pH, что делает их интересными как с фундаментальной точки зрения, так и для биомедицинских приложений. Полисахариды с привитыми цепями (молекулярные щетки), содержащими термочувствительные звенья N-изопропилакриламида (НИПААм), могут быть использованы для адресной доставки лекарственных веществ (ЛВ), благодаря их водорастворимости, биосовместимости и биodeградируемости, меньшим размерам макромолекул по сравнению с линейными цепями аналогичной молекулярной массы, а также термочувствительности НИПААм.

С целью разработки стимул-чувствительного полимера – носителя ЛВ, на предварительно синтезированный карбоксиметилпуллулан были привиты низкомолекулярные цепи сополимера НИПААм с метакриламидом. Привитой сополимер и его боковые цепи были охарактеризованы по составу и молекулярной массе. Определены число боковых цепей щетки и плотность их прививки, сравниваются расстояние между привитыми цепями и их длина. Проведена оценка равновесной жесткости щетки (длины сегмента Куна).

Термочувствительность привитого сополимера исследована в широком диапазоне концентраций и pH. Установлено, что температура начала фазового перехода при нагревании составляет (40 ± 1) °C, при этом она не зависит от концентрации и несколько уменьшается в сильнощелочных растворах. Проанализировано время реагирования сополимера на резкое изменение температуры.

Исследования проводились методами молекулярной гидродинамики и светорассеяния, турбидиметрии и ЯМР.

РАЗРУШЕНИЕ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИ-АНГИДРИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО И КВАРЦЕВОЙ ПУДРЫ ПРИ УДАРНОМ СЖАТИИ

Ткачев В.В., Александров А.И., Гончарук Г.П., Евтушенко Ю.М.

Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,
117393 Москва, Россия
v.tkachev@ispm.ru

Исследованы свойства эпоксидного компаунда, наполненного кварцевой пылью с концентрациями 5. 10. 20. 40. 60 масс.%, а также полимерная матрица без наполнителя (0%). Исследования проводились в режиме одноосного сжатия со скоростью 1 МПа/с в специальной ячейке для механохимических исследований процессов сверхбыстрого разрушения типа реологический взрыв, а также на разрывной машине на сжатие. Использовали специальную ячейку высокого давления, которая помещалась в машину сжатия ИС – 500. Был выбран режим механической активации типа реологический взрыв (РВ). Ячейка электрически изолирована от прессового оборудования и состоит из стальной обоймы и пуансонов, изолированных от обоймы, между которыми находится исследуемый образец. Пуансоны через сопротивление нагрузки $R=50$ Ом соединены с двухканальным цифровым осциллографом Tektronix MSO 200. Ячейка позволяет регистрировать импульс тока $J(t) = RU(t)$, от электрической составляющей $E(t)$ электромагнитного излучения, генерируемого в образце подвижными электронами, возникающими при механическом воздействии. На осциллографе регистрируются импульсы напряжения $U(t)$, квадрат интенсивности которых пропорционален интенсивности радиочастотного излучения. Интенсивность радиочастотного излучения зависит от концентрации введенного в композит количества кварцевой пыли. Максимум интенсивности радиочастотного излучения приходится на композит, содержащий 40 масс.% кварцевой пыли. Установлено, что давление разрушения при реологическом взрыве в основном антибатно с давлением разрушения в машине сжатия. Это говорит о том, что с увеличением содержания наполнителя до 20% наблюдается увеличение сопротивления к сжатию. При этом стойкость к динамическим нагрузкам уменьшается. При дальнейшем повышении содержания наполнителя сопротивление к сжатию уменьшается, а стойкость к динамическим нагрузкам увеличивается при содержании наполнителя более 10%. Отсюда следует, что данный компаунд можно использовать в качестве литой теплофизической изоляции не подверженной ударному разрушению импульсных нагрузках порядка 300 кН.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема FFSM-2021-0006.

**ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В СИСТЕМЕ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ –
ЭТИЛАЦЕТАТ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ И В ЕГО ОТСУТСТВИИ**

Токарева М.Д., Русинова Е.В.

*Уральский федеральный университет,
Екатеринбург
tokareva.masha.2003@gmail.com*

Исследования фазовых переходов в растворах полимеров имеют как практическое, так и теоретическое значение. На сегодняшний день построено огромное количество фазовых диаграмм для систем полимер-растворитель с различными типами фазовых переходов. Интерес представляет информация об изменении температур фазовых переходов в растворах полимеров под влиянием механического, электрического или магнитного полей. В последние годы получены фазовые диаграммы для растворов жесткоцепных и умеренно-жесткоцепных (производные целлюлозы) полимеров в условиях постоянного магнитного поля. Для растворов гибкоцепных полимеров такая информация практически отсутствует. В этой связи целью данной работы явилось исследование процессов кристаллизации низкомолекулярного полиэтиленгликоля (ПЭГ) из его растворов в этилацетате (ЭА).

Исследовали ПЭГ с $M_w = 6000$ г/моль (Австрия). Растворы полимера в ЭА готовили в стеклянных запаянных ампулах в течение семи суток при 363 К. Температуры кристаллизации определяли методом точек помутнения. За температуру фазового разделения принимали температуру начала возникновения сферолитов в растворе. Магнитное поле создавали с помощью постоянного магнита с напряжённостью поля 7,2 кЭ. Вектор напряжённости магнитного поля был направлен перпендикулярно слою раствора в ампуле. Растворы охлаждали со скоростью 0,2 градуса в минуту. Морфологию кристаллов ПЭГ изучали методом поляризационной микроскопии (микроскоп «Olympus BX-51»).

Обнаружено, что пограничная кривая системы ПЭГ – ЭА представляет собой типичную кривую ликвидуса. Рассчитаны значения параметра термодинамического взаимодействия (χ) по уравнению, основанному на теории Флори-Хаггинса. Показано, что магнитное поле приводит к повышению температуры кристаллизации ПЭГ из расплава и к уменьшению температуры кристаллизации ПЭГ из растворов с концентрациями в диапазоне 17,0 – 37,9 % масс. Это может быть связано с изменением структуры полимера при его кристаллизации в магнитном поле. Получены данные об изменении морфологии сферолитов ПЭГ под влиянием постоянного магнитного поля.

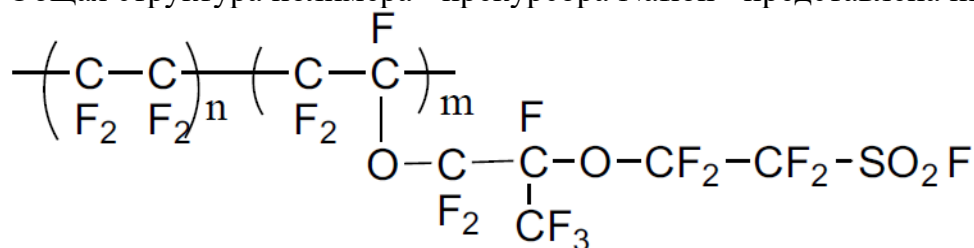
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ПОДВИЖНОСТЬ ПРЕКУРСОРОВ NAFION С РАЗНЫМ ЧИСЛОМ ЗВЕНЬЕВ В ПОВТОРЯЮЩИХСЯ УЧАСТКАХ ОСНОВНОЙ ЦЕПИ, РАЗДЕЛЯЮЩИХ СОСЕДНИЕ ТОЧКИ ВЕТВЛЕНИЯ

Хайруллин А.Р., Афанасьева Н.В., Кононова С.В.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
ahairullin@hotmail.com*

Были проведены диэлектрические исследования воздушно-сухих пленок прекурсоров Nafion в атмосфере сухого воздуха. Было показано наличие двух релаксационных процессов, которым соответствуют энергии активации 12.9 и 33 Ккал/моль, что говорит о “кооперативности” данных локальных процессов, связанных с движением боковых фрагментов. Такое поведение можно объяснить влиянием остаточной воды на характеристики полимера.

Общая структура полимера - прекурсора Nafion - представлена ниже



где $m = 1$, n - в диапазоне от 4 до 20. Образцы прекурсоров Nafion были приготовлены прессованием. Для всех образцов наблюдается одна область релаксации, связанная с молекулярной подвижностью полярного фрагмента в боковых цепях. Данная область релаксации сдвигается к более высоким температурам при увеличении расстояния между боковыми фрагментами (увеличение n). Следует отметить, что рост n приводит к увеличению степени кристалличности образцов, что связано со способностью жесткоцепных участков полимерной цепи образовывать кристаллические области полимера.

По своему химическому строению, прекурсоры Nafion должны быть гидрофобными. Однако, наблюдаются нерелаксационные процессы, связанные с сорбированной влагой. Увеличение степени кристалличности исследуемых частично кристаллических полимеров накладывает структурные ограничения на аморфные области, образующие более неоднородную среду по всему полимеру. Таким образом, такое взаимодействие с водой можно объяснить только Возникают дефекты поверхностей (неровности и шероховатости), а также внутренние полости значительного объема., в которые проникает вода в процессе приготовления образца. (так называемая, bulk water) [1].

Список литературы:

[1] Ja. Ostrowska-Czubenko, M. Pieróg, M. Gierszewska-Drużyńska. Progress on Chemistry and Application of Chitin and Its., 2011.V. 16, P. 147 – 156.

ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЕ НАНОВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛАМИДА И ЕГО КОМПОЗИТОВ И ИХ СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Хаккулов Ж.М.¹, Темиров З.Ш.¹, Бочек А.М.^{1,2}, Эргашова М.¹, Султонов А.П.¹

¹Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека,
г. Ташкент

²Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург
jmkhakkulov@mail.ru

Получение нановолокон, изучение процессов их формирования, морфологии, структуры и свойств дают возможность получать материалы с уникальными эксплуатационными характеристиками. Электроспиннинг является одним из быстро развивающихся методов получения нановолокон и обеспечивает простой и экономичный подход к формированию волокон диаметром от субмикронных до нанометров [1,2].

В настоящей работе исследованы условия электроформования нановолокон на основе композиции полиакриламида с серой и изучено влияние условий процесса электроспиннинга на структуру и морфологию нановолокон.

Морфологические исследования поверхности образцов проводились с помощью сканирующего электронного микроскопа SEM-EVO MA 10 (Zeiss, Germany). В СЭМ снимках нетканых материалов видны волокна с диаметром от 30 нм до 300 нм, при этом в композициях наблюдаются нано- и микрочастицы серы с неравномерным распределением (рис.1). При соотношении композиции ПАА:сера (80:20) частицы серы имеют более крупные размеры, которые могут быть вызваны агломерацией частиц.

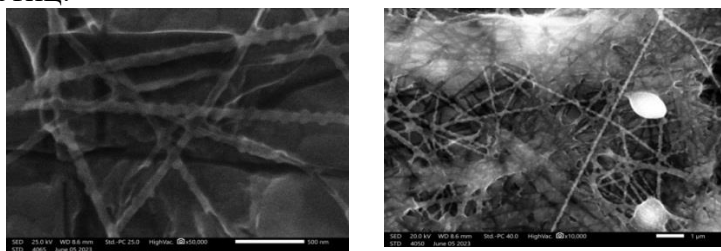


Рис.1 – СЭМ снимки нановолокон ПАА:сера

Таким образом, получены композиционные нановолокна на основе полиакриламида и серы методом электроспиннинга и исследованы их структурные характеристики. Показано, что диаметр нановолокон варьируется от 30 нм до 300 нм, при этом в композициях наблюдаются нано и микрочастицы серы с неравномерным распределением.

Список литературы:

- [1] Dzenis Y.A. Spinning Continuous Fibers for Nanotechnology // Science, **304**, 1917-1919, (2004). <http://dx.doi.org/10.1126/science.1099074>.
- [2] Greiner A., Wendorff J.H. Electrospinning: A Fascinating Method for the Preparation of Ultrathin Fibers // Angew. Chem. Int. Ed., 2007, **46**, 5670–5703, (2007). <http://dx.doi.org/10.1002/anie.200604646>.

2-P-87

**КОНЦЕНТРАЦИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ОБЛАСТЕЙ
НЕУПРУГОСТИ И ВЫСОКОЭЛАСТИЧНОСТИ ДЛЯ СИСТЕМ
ХПВС-(100-Х)ХЗ**

Ломовской В.А., Шатохина С.А., Казберов Р.Я., Ломовская Н.Ю.,
Хлебникова О.А.

Институт физической химии и электрохимии имени А. Н. Фрумкина РАН

В кинетическом режиме внешнего деформирующего воздействия (изотермический режим) получены диаграммы «напряжение-деформация» с различным соотношением компонентов композита хПВС-(100-х)ХЗ для различных температур, различных молекулярных масс и различных степеней деацетилирования компоненты ХЗ в исследуемой системе. Рассмотрены полученные концентрационные зависимости некоторых физико-механических характеристик (предела текучести, предела пропорциональности областей неупругости и высокоэластичности) для хПВС-(100-х)ХЗ с различным соотношением компонентов композита. На основе феноменологической модели Максвелла проведен теоретический анализ режима внешнего одноосного растягивающего деформирующего воздействия на исследуемую композитную систему при различных скоростях этого воздействия (кинетический режим).

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИАКРИЛАМИДА

Ходжаева Н.К., Холмуминов А.А.

*Физический факультет Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека, г. Ташкент, Республика Узбекистан
xnasiba_1984rambler.ru*

Полиакриламид (ПАА), свойства которого столь обширны и многогранны, используется во многих областях. ПАА представляет собой твердое аморфное вещество без запаха, имеющее бело-желтоватый цвет, молекулярная масса которого равна 10^4 - 10^7 (в зависимости от условий получения). Плотность полиакриламида составляет около 1,302 г/см³ при комнатной температуре, то есть 22-24°C. Температура розлива составляет около 190°C. В табл. приведены некоторые характеристики ПАА (гранулы светло –жёлтого цвета, химическая формула: $-(CH_2-CH(CONH_2))_n-$).

Таблица Физико-химические показатели полиакриламидного геля:

Наименование показателя	Сорт ПАА		
	Высший сорт	1 сорт	2 сорт
Массовая доля основного вещества, %, не менее:	6,0	6,0	5,0
Кинематическая вязкость раствора полиакриламида-геля с массовой долей 025% в растворе хлористого натрия с массовой долей 3% при 30°C, мм ² /с, не менее	4,6	3,0	2,2
Скорость осаждения по оксиду меди, мм/с, не менее	12	8	4
Массовая доля остаточных мономеров в расчете на 1% основного вещества, %: акриламида, не более	0,005-0,025	0,005-0,025	0,005-0,025

Полиакриламиды делятся на три типа: неионные, анионные и катионные. Неионные используют для очистки сточных и природных вод, а также для обезвоживания осадков в бумажной промышленности. Анионные ПАА используют для водообработки, в добывающей и текстильной промышленности, обработки бумаги. Катионные полимеры служат для обработки бумаги и коагуляции клеток в биологии. Приобрести ПАА можно в форме белого или желтоватого порошка или в виде геля белого цвета. Многие муниципальные учреждения используют для очистки воды именно ПАА, цена его зависит от производителя и объема тары, но в целом полиакриламид считается одним из самых доступных флокулянтов.

ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК СОПОЛИМЕРОВ СТИРОЛА И ГИДРОФОБИЗИРОВАННОГО ВИНИЛБЕНЗИЛА НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Хребина А.Д., Зорин И.М., Власов П.С., Носков Б.А.

Санкт-Петербургский государственный университет

Амфифильные сополимеры стирола и хлорида винилбензила, модифицированного N,N-диметилдодециламином, были синтезированы сравнительно недавно. В данной работе впервые, насколько известно из литературы, определялись свойства адсорбционных и нанесенных плёнок этих веществ на водной поверхности с помощью поверхностной реологии, эллипсометрии и атомно-силовой микроскопии. Все кинетические зависимости динамической поверхностной упругости при высокой ионной силе раствора оказались монотонными и отличными от результатов для растворов линейных амфифильных макромолекул. Эта особенность, по-видимому, связана с наличием мономеров стирола в цепи полиэлектролита, и с образованием агрегатов, препятствующих возникновению петель и хвостов макромолекул в поверхностном слое [1,2]. Наличие агрегатов в поверхностном слое было подтверждено с помощью атомно-силовой микроскопии. Также был обнаружен двумерный фазовый переход, соответствующий образованию плотного монослоя полиэлектролита без стирольных групп.

Список литературы:

- [1] *Noskov B.A., Nuzhnov S.N., Loglio G., Miller R.* *Macromolecules*. **37** (7), (2004).
[2] *Noskov B.A., Vykov A.G.* *Russian Chemical Reviews*. **84** (6), 634–652, (2015).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 21-13-00039).

АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ДИФфуЗИОННЫХ И МЕЖФАЗНЫХ ЗОН

Чалых А.Е., Вокаль М.В.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской
академии наук, г. Москва
chalykh@mail.ru*

Исследования поверхности срезов сэндвичевых многослойных градиентных систем ПВХ–СКН, ПХП–СКН, ПВХ–СЭВА проводили на атомно-силовом микроскопе «Ангстрем». Ключевым элементом прибора является острый зонд, расположенный на свободном конце упругой консоли – кантилевере, который с помощью пьезодвижущего устройства перемещался в направлении исследуемой поверхности, а от неё и вдоль поверхности по любой выбранной траектории. Взаимодействие зонда с анализируемой поверхностью или ее участком, вызванное поверхностными силами, приводило к характерному изгибу кантилевера. По углу изгиба консоли, положению зонда относительно поверхности на стадии его приближения к поверхности, а затем - удаления от нее рассчитывался, а затем строилась т.н. силовая кривая.

В методике «многопараметрических измерений» в каждой точке участка поверхности снималась силовая кривая, которая включала в себя характеристические точки, определяющие микротвердость поверхности (Н), модуль упругости материала (Е), адгезию зонда в режиме нормального отрыва (А), пластическую деформацию материала (ϵ). Принципиально важно, что все эти измерения носили локальный характер, а размер области исследования соизмерим с размерами острия зонда ($\sim 2-5$ нм).

Видно, что практически все параметры претерпевают в области межфазной границы скачкообразное изменение. Если предположить, что размер зонда ~ 5 нм, то скорректированное значение межфазной границы близко к значению δ , полученное методом трансмиссионной электронной микроскопии. Показано, что все процессы самопроизвольного смешения полимеров обусловлены тепловой трансляционной подвижностью макромолекул, которая, с количественной точки зрения, определяется коэффициентом диффузии. Рассчитаны коэффициенты взаимодиффузии в разных средах, определены энергии активации трансляционной подвижности макромолекул. Показано количественное согласие результатов, полученных методами рентгеновского микроанализа, электронной и атомно-силовой микроскопии (АСМ).

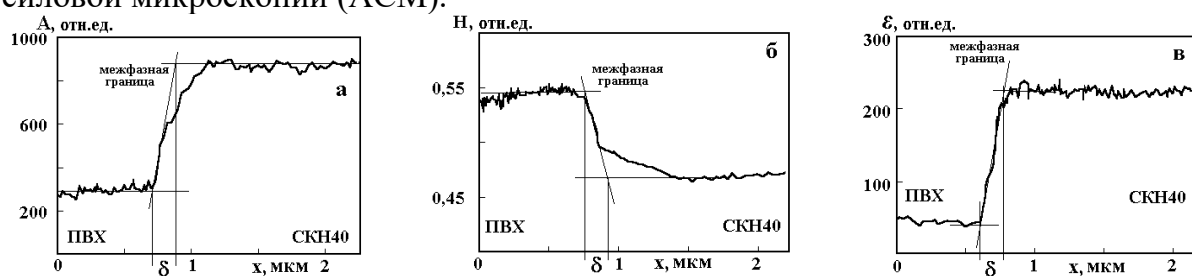


Рис. 1 – Профили распределения адгезии (а), микротвердости (б) и пластической деформации (в) в переходной зоне системы ПВХ–СКН40.

ГИБРИДНЫЕ ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКИЕ КАТАЛИЗАТОРЫ С НАНЕСЕННЫМ ПОЛИМЕРНЫМ СЛОЕМ ДЛЯ ГИДРИРОВАНИЯ ЛЕВУЛИНОВОЙ КИСЛОТЫ

Чамкина Е.С.¹, Сорокина С.А.¹, Кучкина Н.В.¹, Михальченко А.В.¹,
Михайлов С.П.², Сульман М.Г.², Шифрина З.Б.¹

¹*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,
г. Москва*

²*Тверской государственный технический университет, Тверь
sorok.svetlana@gmail.com*

Возобновляемые ресурсы и биологическое сырье являются устойчивой альтернативой нефтехимическим источникам энергии и химических веществ. Так, существует насущная необходимость в преобразовании биомассы в химические соединения с добавленной стоимостью, платформенные химикаты и соединения тонкой органической химии, в рамках стратегических направлений развития «зеленой» химии. Гамма-валеролактон (ГВЛ), получаемый путем селективного гидрирования левулиновой кислоты (ЛК), является компонентом жидкого топлива, а также промышленно важным химическим соединением [1]. ЛК, в свою очередь, является продуктом гидролиза лигноцеллюлозной биомассы.

В работе осуществлен синтез новых гибридных катализаторов на основе функциональных полимерных лигандов с каталитическими комплексами рутения и мезопористой подложки, содержащей магнитные наночастицы. Нанесение тонкого слоя сверхразветвленного пиридилфениленового полимера на мезопористый магнитосодержащий силикагель привело к формированию композита, в котором полимерная составляющая отвечает за формирование и стабилизацию каталитических комплексов металла, а мезопористая подложка с магнитными наночастицами обеспечивает эффективное магнитное отделение катализатора от реакционной смеси и его последующее использование. Нанесение полимерного слоя привело к увеличению площади поверхности силикагеля, что способствует более эффективному массопереносу в ходе катализа, а высокая термическая стабильность ароматического полимера позволила использовать композит в жестких условиях реакции гидрирования ЛК. Выход ГВЛ составил 98% за 120 мин с селективностью 100%.

Список литературы:

[1] *Xu W. et. al. J. ChemTech & Biotech. 96, 3009 (2021).*

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии президента для молодых ученых, проект СП-4370.2021.1.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОТКЛИКА ПОЛИМЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ УМЕРЕННО ЛИПОФИЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ

Четверикова Д.А., Похвищева Н.В., Пешкова М.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
d4verikova@gmail.com

Ионоселективные оптические сенсоры (оптоды) на основе пластифицированных полимеров широко используются в различных областях науки. Их сигнал является результатом ионного обмена между фазой оптода и раствором, и при этом зависит либо от отношения, либо от произведения активностей двух ионов — аналита и парного иона. Было показано, что данную проблему можно частично решить добавлением в полимерную мембрану умеренно липофильного органического электролита (например, тетракис[3,5-бис(трифторметил)фенил]борат тетраоктиламмония, ТОАВАrF), распределение которого между фазами стабилизирует Гальвани-потенциал [1, 2].

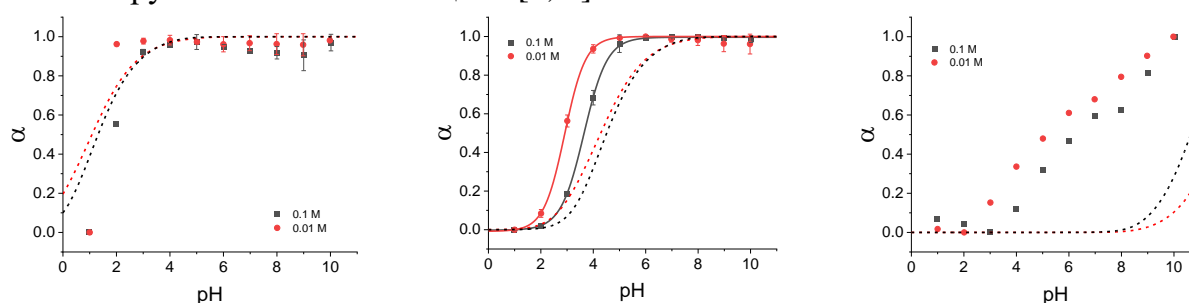


Рис. 1 – Сравнение теоретического pH-отклика (пунктирные линии) с экспериментальными данными (точки и/или сплошные линии) для оптодов состава С:ТОАВАrF:NaVI в растворах с различной фоновой концентрацией электролита, где С: А) хромоионофор II; Б) хромоионофор III; В) хромоионофор IV.

Так как при внесении в полимерную мембрану таких компонентов могут значительно поменяться константы межчастичных взаимодействий, в том числе и за счет их взаимодействия с полимерной матрицей [3], необходимо дальнейшее изучение зависимости отклика таких оптодов от качественного состава мембраны. Данная работа посвящена исследованию зависимости отклика оптодов, содержащих липофильные электролиты, от природы хромоионофора, т.е. липофильного индикатора, внесенного в полимерную мембрану. Было продемонстрировано полуколичественное соответствие между теоретическими и экспериментальными зависимостями оптического отклика от природы хромоионофора.

Список литературы:

- [1] A.E. Stashkova, M.A. Peshkova, K.N. Mikhelson. *Sensors Actuators, B Chem.* **207**, 346 (2015).
- [2] N. V. Pokhvishcheva, I.S. Prozherin, A. V. Kalinichev, M.A. Peshkova. *ACS Sensors* (2023).
- [3] R.D. Armstrong, A.K. Covington, W.G. Proud. *J. Electroanal. Chem. Interfacial Electrochem.* **257**, 155 (1988).

СТРУКТУРА ГЕЛЬ-ПЛЕНОК БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, СИНТЕЗИРУЕМОЙ ШТАММОМ *GLUCONACETOBACTER HANSENI* GH-1/2008 НА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ С МНОГОАТОМНЫМИ СПИРТАМИ

Шалина Н.А.¹, Каримов Д.Н.², Архарова Н.А.², Клечковская В.В.²,
Громовых Т.И.^{1,2}

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», г. Москва
²Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, г. Москва, Россия
*nattie.shalina@gmail.com*¹, *natalya.arkharova@yandex.ru*²

Создание органических материалов с множеством потенциальных применений является перспективным для различных фармацевтических производств, медицины и пищевой промышленности. Бактериальная целлюлоза (БЦ) – экзополимер, синтезируемый прокариотами, который и обладает уникальными свойствами, такими как химическая чистота, влагоудерживающая способность, высокая степень полимеризации. [1, 2, 3]. Известно, что микроструктура БЦ зависит от используемого продуцента, условий культивирования и состава питательной среды [4]. Целью работы было изучить структуру гель-пленок бактериальной целлюлозы, синтезируемую продуцентом *Gluconacetobacter hansenii* GH-1/2008 в условиях жидкофазного стационарного культивирования на средах с поливиниловым спиртом, маннитолом и сорбитолом. Проведен сравнительный анализ морфологии и микроструктуры синтезированных гель-пленок. Установлено, что источник углерода влияет как на пористость материала, так и на диаметр фибрилл. Таким образом, установлена взаимосвязь микроструктуры синтезируемых гель-пленок БЦ от источников углерода в питательной среде для культивирования штамма *Gluconacetobacter hansenii* GH-1/2008. Это позволит подобрать источник углерода в составе питательной среды для биосинтеза гель-пленок бактериальной целлюлозы в качестве основы для изготовления различных гибридных материалов.

Список литературы:

- [1] M.W. Patchan, J.J. Chae, J.D. Lee, et al. Journal of Biomaterials Applications, **30(7)**, 1049–1059 (2016)
- [2] Huang Y., Zhu C., Yang J., et al. Cellulose, **21**, 1-30 (2014).
- [3] З.Н. Скворцова, Т.И. Громовых, В.С. Грачев., В.Ю. Траскин. Коллоидный журнал, **81**, 441-452 (2019).
- [4] Болгова А.Л., Шевцов А.А., Архарова Н.А., и др. Кристаллография, **68 (4)**, 607 – 614, (2023).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-29-00952 с использованием оборудования ЦКП ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, а также в рамках государственного задания ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет (проект АААА-А20-120092190052-9) в части синтеза БЦ.

НАНОКОМПОЗИТЫ TiO_2/Au В МАТРИЦЕ ХИТОЗАНА И ИХ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Шелудько П.Н., Саломатина Е.В., Смирнова Л.А.

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород
salomatina_ev@mail.ru*

В настоящее время фотокаталитические свойства TiO_2 широко используются в реакциях разложения органических загрязнителей сточных вод под действием УФ-излучения. Для усиления свойств TiO_2 применяются различные методы, основным из которых является легирование его поверхности наночастицами (НЧ) металлов или их оксидов. Целью работы явилось исследование фотокаталитических свойств НЧ диоксида титана анатазной полиморфной модификации, легированных НЧ золота, стабилизированных макромолекулами хитозана (ХТЗ), в реакциях разложения азо-красителей и фенолов в водной среде. НЧ TiO_2 были получены из $\text{Ti}(\text{OPr}^i)_4$ золь-гель методом в среде изопропилового спирта. Выявлены условия, позволяющие формировать НЧ TiO_2 размером от 20 до 920 нм. Параллельно в водно-уксуснокислых растворах ХТЗ при *in situ* УФ-восстановлении HAuCl_4 были получены НЧ Au со средним размером $5,0 \pm 0,1$ нм и узким распределением по размерам. При смешивании растворов дисперсий происходила адсорбция НЧ Au на частицах TiO_2 вследствие высокой удельной поверхности последних и образование агрегативно устойчивых систем благодаря высокой стабилизирующей способности ХТЗ из-за наличия amino- и гидроксильных групп в его звене. Из полученных дисперсий было произведено осаждение образцов с образованием порошков. Исследование спектров диффузного отражения порошкообразных образцов $\text{TiO}_2\text{-ХТЗ}$ и $\text{TiO}_2/\text{Au-ХТЗ}$, показало, что величина ширины запрещенной зоны (ШЗЗ) TiO_2 в них составляет 3.1 и 1.49 эВ, соответственно. Фотокаталитической активности (ФКА) наноконпозитов были исследованы в реакциях разложения метиленового синего (МС) и п-нитрофенола (НФ) в водных растворах при воздействии УФ- и видимого света. Определена оптимальная концентрация наноконпозитов в растворе, обеспечивающая высокую эффективность разложения загрязнителей. Установлено, что активность образцов $\text{TiO}_2/\text{Au-ХТЗ}$ выше, чем у $\text{TiO}_2\text{-ХТЗ}$. Так, глубина превращения МС при УФ-облучении его растворов в течение 150 мин составляет 60% и ~ 90%, соответственно. Практически полное разложение НФ в воде при проведении эксперимента в тех же условиях наблюдается за ~ 2 ч. Снижение ШЗЗ TiO_2 в 2 раза при его легировании НЧ Au обуславливает высокую ФКА композита при действии видимого света; конверсия МС составляет 50% за 180 минут светового воздействия. Таким образом, полученные системы $\text{TiO}_2/\text{Au-ХТЗ}$ могут быть использованы для обезвреживания органических загрязнителей водных сред.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Программой стратегического академического лидерства "Приоритет 2030"), на основании решения исполнительской дирекции ННГУ (номер темы Н-414-99_2023-2024).

НИТЕВИДНЫЕ АККУМУЛЯТОРНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Шульгин А.В., Москалюк О.А.

*Балтийский федеральный университет им. И. Канта
г. Калининград
shulgin.smartex@yandex.ru*

Нитевидный аккумулятор на основе полимерных композитов представляет собой три конфигурации. Первая конфигурация собирается путем сопряжения двух волоконных электродов параллельно с зажатым между ними сепаратором. Вторая конфигурация получается путем скручивания двух волоконных электродов вместе с помощью вращательно-поступательной установки, которая обычно требует предварительного нанесения твердого электролита на поверхность каждого волоконного электрода для предотвращения коротких замыканий. Третья конфигурация представляет собой коаксиальную структуру. Аккумулятор в форме коаксиального волокна обычно реализуется методом послойной сборки, в котором один электрод волокна используется в качестве сердцевины с последующей последовательной обмоткой сепараторов или гелевых электролитов и другого электрода вокруг сердцевины волокна.

В 2012 году впервые было сказано об одномерных литий-ионных электродах в форме нити. В 2015 году была произведена литий-серная нитевидная батарея с преимуществами гибкости и технологичности. По мере развития технологий более традиционные планарные аккумуляторные системы за счет создания полимерных композитов были преобразованы в одномерные волокнистые структуры с превосходными электрохимическими характеристиками и механической гибкостью, что значительно расширило их применение в областях носимой и биомедицинской электроники. В недавнем 2018 году новые аккумуляторные системы, такие как LiCO_2 в форме волокна и металл-органические каркасные аккумуляторы считаются многообещающими кандидатами для высокоэффективных накопителей энергии следующего поколения.[1]

Нитевидные аккумуляторы обладают более высокой средней плотностью энергии по сравнению с другими аккумуляторами. Эти различия объясняются внутренними характеристиками различных аккумуляторных систем и соответствующими электрохимическими реакциями. Кроме того, недавно разработанные Ni-Fe аккумуляторы волокнистой формы и аккумуляторы на основе металл-органических конструкций обладают оптимизированной мощностью и плотностью энергии благодаря высокому поверхностному переносу электронов при сохранении ионной проводимости композитных материалов. Срок службы в основном связан с характеристиками материалов батареи, таких как материалы электродов и электролиты [2].

Список литературы:

- [1] Y. H. Kwon, S. W. Woo, H. R. Jung, H. K. Yu, K. Kim, B. H. Oh, S. Ahn, S. Y. Lee, S. W. Song, J. Cho, *Adv. Mater.* **24**, (2012).
- [2] Z. Liu, G. Liang, Y. Zhan, H. Li, Z. Wang, L. Ma, Y. Wang, X. Niu, C. Zhi, *Nano Energy*, **58**, (2019).

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ САМООЧИЩАЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИОРГАНОГИДРИДСИЛОКСАНОВ И ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИ АКТИВНОГО ДИОКСИДА ТИТАНА

Щукина И.А., Дедов Н.А., Ильина Т.А., Костылева Е.И.

*Новомосковский институт Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева, г. Новомосковск, Тульская область, Россия
innokentty98@mail.ru*

В работе представлены результаты исследований по получению самоочищающихся защитных покрытий для строительных материалов. Предпринята попытка объединения таких технологических приемов как гидрофобизация кремнийорганическими соединениями и получение фотокаталитически активных (ФКА) покрытий на основе диоксида титана на различных поверхностях. В результате получали гидрофобизирующий состав на основе водной эмульсии олигоалкилгидридсилоксана, содержащий диоксид титана. На его основе получены самоочищающиеся покрытия на следующих материалах: древесина лиственных и хвойных пород, глиняный, огнеупорный и газосиликатный кирпичи, хлопчатобумажная и полиамидная ткани.

Отработана методика синтеза ФКА наночастиц диоксида титана гидролизом тетрахлорида титана в ультразвуковом поле (УЗ). Для достижения ФКА TiO_2 в видимой области электромагнитного излучения проведена его модификация соединениями циркония(IV), гафния(IV), Се(III) и Dy(III). Полученные образцы TiO_2 охарактеризованы методами РФА, ДТГА, ИК-спектроскопии, лазерной дифракции. Определены температуры фазовых переходов анатаз-рутил синтезированных частиц; тепловые эффекты, сопровождающие процессы дегидратации и структурных перегруппировок. Размеры частиц лежат в диапазоне 100-300 нм. Для оценки ФКА исходных модифицированных частиц TiO_2 применяли метод фотокаталитического окисления органического красителя родамина-Ж. Изучаемые наночастицы обладают ФКА - происходит уменьшение концентрации родамина-Ж в системе по мере облучения образца.

Проведена оценка гидрофобности получаемых покрытий - краевые углы (θ) на изучаемых поверхностях составляют 120-140 град. Водопоглощение древесины уменьшается с 50% до 6%. Устойчивость покрытия на кирпиче проверяли на кирпичной кладке – в течении 9 месяцев обработанная поверхность сохраняет насыщенный цвет, гидрофобность, не появляются «высолы». Обработанная ткань сохраняет гидрофобность при многократных стирках, сохраняется яркость окрашивания. Таким образом, в работе предложены составы и режимы формирования устойчивых гидрофобных, защитных покрытий.

Благодарности Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научного проекта лаборатории "Лаборатория ионных материалов" (ЛИМ), проект № FSSM-2021-0014 и гранта правительства Тульской области в сфере науки и техники. Постановление № 433 от 05.07.2022 г.

ИЗМЕНЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Якубова Л.Ю., Дмитриенко А.О., Подзорова М.В.

*Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова,
г. Москва
mariapdz@mail.ru*

Информация о кристаллической структуре вещества, в частности полимеров, позволяет дать характеристику свойств будущих материалов. Так, некоторые эксплуатационные и технологические свойства полилактида (ПЛА) сильно зависят от характеристик молекулярной массы и степени кристалличности. Этот полимер относится к кристаллическим полимерам, что влияет на механические характеристики, способность к растворению и деградации под влиянием различных факторов. ПЛА — это алифатический термопластичный полиэфир, который характеризуется высоким модулем упругости, высокой прочностью и хорошей прозрачностью [1, 2]. Сообщалось о различных кристаллических структурах ПЛА, образование которых зависит от условий кристаллизации. Наиболее распространенная форма, встречающаяся в обычных условиях кристаллизации расплава и раствора, была впервые описана в работе [3].

Рассматривая кристаллические полимеры, можно отметить, что на дифрактограммах отмечаются четкие рефлексy, относящиеся к различным типам кристаллических образований. Для полилактида наиболее характерными полиморфами являются α и α' .

В процессе воздействия различных факторов могут происходить изменения кристаллической структуры полимеров. Например, скорость ферментативной деструкции у ПЛА низкая, что связано напрямую с его кристаллической структурой. В тоже время ПЛА подвержен фотодеструкции.

После испытаний пленочных образцов ПЛА (Nature works, США) на воздействие УФ-излучения в течение 100 часов с $\lambda=254$ нм на рентгеновских дифрактограммах отмечается значительное снижение интенсивности пика $2\theta=16.7$, что свидетельствует о разрушении кристаллической структуры ПЛА.

Список литературы:

- [1] Podzorova M. V., Tertyshnaya Yu. V., Pantyukhov P. V., Shibryaeva L. S., Popov A. A., Nikolaeva S. AIP Conference Proceedings **1783**, 020185 (2016).
- [2] Saeidlou S., Huneault M. A., Li H., Park C. B. Progress in Polymer Science **37**, 1657–1677 (2012).
- [3] De Santis P., Kovacs A. J. Biopolymers **6**, 299–306 (1968).

Благодарности

Результаты исследования получены в рамках гранта Президента Российской Федерации на государственную поддержку молодых российских ученых – кандидатов наук № МК- 3240.2022.1.3.

СЕКЦИЯ 3
***БИОПОЛИМЕРЫ И ПОЛИМЕРЫ МЕДИЦИНСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ***

УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ГИДРОГЕЛИ АЛЬГИНАТА, СОДЕРЖАЩИЕ ТРЕХМЕРНУЮ СЕТКУ НАНОТРУБОК ГЛИНЫ, ДЛЯ 3Д ПЕЧАТИ

Молчанов В.С., Глухова С.А., Филиппова О.Е.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет,
г. Москва
molchan@polly.phys.msu.ru*

3Д-печать гидрогелями полисахаридов — одна из быстроразвивающихся технологий, которая может найти множество применений, например, для изготовления сложных структур и функциональных тканей. К сожалению, 3Д-печатные объекты, изготовленные из однокомпонентных гидрогелей полисахаридов, имеют довольно низкую механическую прочность. Также недостаточная вязкоупругость может ухудшить разрешение 3Д-печати в результате растекания материала.

Для преодоления проблемы механической прочности было предложено включить в гидрогели армирующий наполнитель – нанотрубки галлуазита. В качестве полисахарида был выбран альгинат, благодаря способности быстро сшиваться мультивалентными ионами. Хотя альгинат является одним из наиболее широко применяемых полисахаридов в 3Д-печати, его комбинация с галлуазитом, насколько нам известно, еще не использовалась для этой цели. Мы полагаем, что наиболее значимое улучшение механических свойств при добавлении галлуазита будет происходить при концентрациях нанотрубок выше порога перколяции, когда нанотрубки образуют собственную сетчатую структуру в дополнение к полимерной.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния полимерной сшивки на реологические свойства и микроструктуру альгинатно-галлуазитных гидрогелей, содержащих перколированные нанотрубки, встроенные в альгинатную сетку, сшитую ионами кальция.

Реологические исследования показали, что поперечное сшивание полимерных цепей улучшает свойство вязкого течения при сдвиге, ускоряет восстановление вязкости в состоянии покоя и увеличивает модуль упругости, но лишь незначительно влияет на предел текучести, который, по-видимому, в основном определяется перколяционной сеткой нанотрубок. Таким образом, впервые была оценена возможность 3Д-печати альгинатных/галлуазитных гидрогелей, и было показано, что они являются многообещающим материалом для 3Д-печати.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проект №23-13-00177.

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТОВ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ: ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МЕДИЦИНЕ

Громовых Т.И.^{1,2}, Архарова Н.А.², Садыкова В.С.³, Васильков А.Ю.⁴, Клечковская В.В.²

¹ФГАОУ ВО Московский политехнический университет, г. Москва

²Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» РАН, г. Москва

³ФГБНУ "НИИ по изысканию новых антибиотиков им. Г.Ф. Гаузе", г. Москва

⁴Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, г. Москва

gromovykhtatyana@mail.ru

Бактериальная целлюлоза является «золотым стандартом» наноцеллюлоз: она синтезируется в нанометровом масштабе и строго контролируется синтезирующими её бактериями. Микрофибриллярная структура бактериальной целлюлозы определяет ее уникальные свойства [1]. В чистом виде БЦ не обладает антибиотической активностью, поэтому для получения необходимых свойств на полимер наносят антибиотики или наночастицы металлов. Биополимер бактериальную целлюлозу получали культивированием в статических условиях штамма-продуцента *Glucanacetobacter hansenii* GH-1/2008 (ВКПМ В-10547) на жидких средах с различными источниками углерода. Показано, что микроструктура пленок, водоудерживающая способность и механические свойства зависят от используемого штаммом источника углерода [2].

На основе синтезированных продуцентом гель-пленок бактериальной целлюлозы были получены композиты различного типа: с наночастицами металлов, и антибиотиком грамицидином С. Наночастицы металлов получали методом металлопарового синтеза [3]. По результатам исследований антибиотической активности установлено, что полученные нанокомпозиты бактериальной целлюлозы проявляют биоцидное действие в отношении тест-штаммов, грамположительных штаммов бактерий – *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Micrococcus luteus* NCTC 8340 и грамотрицательных бактерий *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853.

Список литературы:

[1] Skvortsova, Z.N., Traskin, V.Y., Grachev, V.S., Gromovykh T.I. Colloid Journal. **82** (4) 475–478 (2020).

[2] Gromovykh T.I., Pigaleva M.A., Gallyamov M.O., Ivanenko I.P., Ozerova K.E., Kharitonova E.P., Bahman M.R., Feldman N.B., Lutsenko S.V., Kiselyova O.I. Carbohydrate Polymers. **237**, 11614 (2020).

[3] Alexander Vasil'kov, Alexander Budnikov 1, Tatiana Gromovykh 2, Marina Pigaleva 3, Vera Sadykova, Natalia Arkharova 5 and Alexander Naumkin. Polymers, **14**, 3907 (2022).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-29-00952 с использованием оборудования ЦКП ФНИЦ "Кристаллография и фотоника" РАН, ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет».

КОНЬЮГАТЫ КОЛИСТИНА С ПОЛИСАХАРИДАМИ: СИНТЕЗ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Дубашинская Н.В., Скорик Ю.А.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
dubashinskaya@gmail.com*

Конъюгирование биологически активных молекул с полимерами является перспективной стратегией для разработки систем доставки лекарств с улучшенными биофармацевтическими свойствами (высокая биодоступность, контролируемое высвобождение, адресная доставка, сниженная системная токсичность) [1].

Целью данного исследования было получить конъюгаты пептидного антибиотика колистина с гиалуроновой кислотой и хитозаном и оценить их биологические свойства (антимикробную активность, кишечную проницаемость и цитотоксичность). Конъюгаты были синтезированы с использованием реакции карбодиимидной активации между колистином и гиалуроновой кислотой или сукцинил-хитозаном со степенью сукцинирования 58% [2,3]. В результате были получены конъюгаты с различными степенями замещения (3-12%), которые самособирались в водных средах в наноструктуры с гидродинамическим диаметром 100-400 нм и ζ -потенциалом $-(22-33)$ мВ. Конъюгаты с высокими степенями замещения сохраняли антимикробную активность на уровне свободного колистина и обладали сниженной нефро- и нейротоксичностью. Дополнительная модификация конъюгатов цианокобаламином (витамин В12) позволила улучшить кишечную проницаемость колистина (коэффициент кишечной проницаемости на клеточной модели Caco-2 составил $3,5 \times 10^{-6}$ см/с), что свидетельствует об их потенциально высокой пероральной биодоступности. Таким образом, полученные конъюгаты являются перспективными системами доставки колистина с улучшенной биологической активностью и могут быть использованы как для парентерального, так и перорального введения.

Список литературы:

- [1] Dubashynskaya N.V., Skorik Y.A. *Pharmaceuticals*, **13** (5), 83 (2020).
[2] Dubashynskaya N.V., Bokatyi A.N., Gasilova E.R., Dobrodumov A.V., Dubrovskii Y.A., Knyazeva E.S., Nashchekina Y.A., Demyanova E.V., Skorik Y.A. *Int. J. Biol. Macromol.*, **215**, 243-252 (2022).
[3] Dubashynskaya N.V., Bokatyi A.N., Dobrodumov A.V., Kudryavtsev I.V., Trulioff A.S., Rubinstein A.A., Aquino A.D., Dubrovskii Y.A., Knyazeva E.S., Demyanova E.V., Nashchekina Y.A., Skorik Y.A. *Int. J. Mol. Sci.*, **24** (1), 166 (2022).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 19-73-20157-П).

ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСИЙ ФИБРИЛЛ БЫЧЬЕГО СЫВОРОТОЧНОГО АЛЬБУМИНА

Акентьев А.В., Носков Б.А.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,
г. Санкт-Петербург
a.akentiev@spbu.ru*

Бычий сывороточный альбумин (БСА) выполняет функцию переносчика различных веществ в системе кровообращения, в большом количестве содержится в плазме крови, и представляет один из амилоидогенных белков. До настоящего времени основное внимание уделялось изучению объемных свойств фибрилл БСА. В то же время, несмотря на то, что в организме многие процессы происходят на межфазных границах, информация о свойствах слоев фибриллярных агрегатов бычьего сывороточного альбумина на водной поверхности отсутствует.

В работе получены червеобразные фибриллы БСА, отличающиеся по форме и размерам от изученных ранее фибрилл других глобулярных белков [1]. Для оценки механизма образования слоев фибриллярных агрегатов БСА на водной поверхности использованы методы поверхностной реологии. Морфология пленок определялась с помощью атомно-силовой микроскопии и микроскопии при угле Брюстера. Фибриллы бычьего сывороточного альбумина образуют на водной поверхности сплошной слой, который не разрушается при сильном сжатии и растяжении до начальной площади. В то же время при сильном сжатии слой фибрилл становится жестким и характеризуется относительно высокими значениями поверхностного давления и поверхностной упругости по сравнению со слоем нативного белка. Адсорбционные слои фибрилл БСА также отличаются от слоев нативного белка наличием индукционного периода, продолжительность которого растет при очистке дисперсии фибрилл от поверхностно-активных примесей, образующихся при их синтезе. Увеличение ионной силы раствора значительно ускоряет изменение поверхностных свойств, что указывает на сильное влияние электростатических взаимодействий. Свойства нанесенных слоев фибрилл БСА отличаются от свойств их адсорбционных слоев. Это различие может быть вызвано медленным распространением фибрилл вдоль межфазной границы после их нанесения на поверхность воды и/или меньшей концентрацией поверхностно-активных примесей, которые остаются в дисперсии даже после очистки, в случае нанесенных слоев.

Список литературы:

[1] Noskov B.A., Akentiev A.V., Bykov A.G., Loglio G., Miller R., Milyaeva O.Y. Spread and Adsorbed Layers of Protein Fibrils at Water – Air Interface. *Colloids Surfaces B Biointerfaces*. **220**, 112942, (2022), doi:10.1016/j.colsurfb.2022.112942.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект РНФ № 21-13-00039).

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАТИОННЫХ СОПОЛИМЕРОВ С НАНЕСЕННЫМИ МОНОСЛОЯМИ ЛЕГОЧНЫХ ЛИПИДОВ

Быков А.Г., Панаева М.А., Михайлов А.В., Носков Б.А.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,
г. Санкт-Петербург
ag-bikov@mail.ru*

Поверхностно-активные белки СП-Б и СП-Ц, входящие в состав легочного сурфактанта, способствуют формированию многослойной структуры сурфактанта на поверхности легких, что обеспечивает функциональность органов дыхания. Недостаток этих белков приводит к различным заболеваниям, для лечения которых до настоящего момента используются вытяжки из легких животных. Основная сложность при разработке синтетического аналога легочного сурфактанта заключается в поиске добавок, заменяющих СП-Б и СП-Ц, так как механизм их действия остается непонятен [1]. В данной работе с помощью недавно развитого подхода [2], позволяющего проводить измерения поверхностных реологических свойств в условиях, приближенных к физиологическим, были исследованы нанесенные монослои легочных липидов на поверхности растворов катионных гетерополимеров. Сополимеры хлоридов диаллилдиалкиламмония с различной длиной алкильной цепи характеризовались различной поверхностной активностью. Показано, что сополимеры оказывают влияние на свойства монослоя цвиттер-ионного фосфолипида - дипальмитоилфосфатидилхолина, который составляет основу легочного сурфактанта, только в области высоких поверхностных натяжений вдали от физиологического состояния. Однако, добавление отрицательно заряженного фосфолипида приводило к увеличению влияния сополимеров и позволяло сохранять низкие значения поверхностного натяжения при растяжении поверхности. Полученные результаты позволяют оценить роль электростатических взаимодействий в образовании комплексов легочных липидов и заряженных макромолекул на межфазной границе.

Список литературы:

- [1] *Castillo-Sánchez J.C., Cruz A., Pérez-Gil J. Arch Biochem Biophys. Academic Press* **703**, 108850 (2021).
[2] *Ravera F., Miller R., Zuo Y. Y., Noskov B.A., Bykov A.G., Kovalchuk V.I., Loglio G., Javadi A., Liggieri L. Curr. Opin. Coll. Interf. Sci.* **55**, 101467 (2021).

Благодарности

Исследования были поддержаны Российским Научным Фондом (грант No. 22-23-00235).

ВЛИЯНИЕ ХИТОЗАНА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ НА АДИПОГЕННУЮ ДИФФЕРЕНЦИРОВКУ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК

Шагдарова Б.Ц.¹, Коновалова М.В.², Полтавцева Р.А.³, Свирщевская Е.В.^{2,3}

¹Институт биоинженерии, Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук, г. Москва

²Институт биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, г. Москва,

³ФГБУ "НМИЦ АГП им. В.И. Кулакова" Минздрава России, г. Москва
shagdarova.bal@gmail.com

Число людей, страдающих ожирением постоянно увеличивается, что приводит к увеличению распространенности диабета 2 типа и других метаболических заболеваний. Поиск природных соединений для профилактики и лечения метаболических нарушений является актуальной задачей. Хитозан и его производные могут обладать гиполипидемическими, противодиабетическими, антиоксидантными свойствами. Целью данной работы был анализ эффекта хитозана и его производных на дифференцировку мезенхимальных стволовых клеток (МСК) человека в адипоциты. В ходе работы был использован хитозан с молекулярной массой (ММ) 60 кДа, со степенью дезацетилирования (СД) 90%, полученный азотнокислым гидролизом. На основе хитозана с ММ 30 кДа были получены производные: кватернизированный хитозан (КХ) со степенью замещения (СЗ) 40%, сукцинил хитозан (СХ) со СЗ 60% и гексаноил хитозан (ГХ) со СЗ 10%. Первичную культуру МСК выделяли из ткани пупочных канатиков, получаемых после родоразрешения через естественные родовые пути с письменного информированного согласия донора. Ткань механически измельчали, обрабатывали смесью коллагеназы I типа и трипсина; центрифугировали; осадок переносили в культуральную среду. Для исследований использовали культуру МСК из Вартонового студня 3-его пассажа. Перед постановкой эксперимента МСК снимали с флаконов трипсином, разносили в 12-луночные планшеты и оставляли на ночь. В лунки с МСК вносили растворы хитозана и инкубировали в течении 9 дней на среде DMEM с добавлением 10% фетальной бычьей сыворотки и антибиотиков в контроле и дополнительно инсулина, 3-изобутил-1-метилксантина и дексаметазона в культуры для дифференцировки МСК в адипоциты. После инкубации клетки окрашивали Oil-Red O. Показали, что при добавлении в контрольные культуры КХ вызывал спонтанную дифференцировку МСК в сторону адипоцитов. Хитозан 60 кДа, ГХ и СХ снижали дифференцировку МСК в адипоциты. Полученные данные показали, что хитозан, ГХ и СХ являются перспективными полимерами для профилактики ожирения. КХ не только стимулировал адипогенную дифференцировку, но и приводил к гибели клеток при добавлении дифференцировочных факторов.

Благодарности

Работа проведена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-24-10070).

НАНЕСЕННЫЕ СЛОИ АМОРФНЫХ АГРЕГАТОВ КУПИНА-1.1 НА ПОВЕРХНОСТИ ЧИСТОЙ ВОДЫ И РАСТВОРА МОЧЕВИНЫ

Исаков Н.А.¹, Белоусов М.В.^{1,2}, Нижников А.А.^{1,2}, Носков Б.А.¹

¹*Санкт-Петербургский государственный университет, институт химии,
г. Санкт-Петербург*

²*Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной
микробиологии,
г. Санкт-Петербург
borisanno@rambler.ru*

Купин-1.1, представляющий домен вицилина, был получен с использованием ранее созданного плазмидного вектора и штамма *E. coli* BL21 [1]. Для определения свойств и морфологии нанесенных слоев аморфных агрегатов купина-1.1 на границе воздух/вода использовалась поверхностная тензиометрия, дилатационная поверхностная реология и атомно-силовая микроскопия. Из-за низкой растворимости в воде купин-1.1 образует агрегаты при взаимодействии с водой [1]. Эти агрегаты на поверхности воды имеют тенденцию частично дезагрегировать, образуя слой со свойствами, значительно отличающимися от свойств слоев исследованных ранее агрегатов других белков. Зависимость динамической упругости слоя от поверхностного давления имеет два локальных максимума, причем второй пик в четыре раза выше первого. Объяснение первого максимума основано на сходстве полученных результатов с данными для микрогелей полимеров, когда вначале сжатия рыхлая корона частиц микрогеля растягивается вдоль поверхности и образует петли и хвосты при дальнейшем сжатии, что приводит к снижению поверхностной упругости [2]. Полученные с помощью просвечивающего электронного микроскопа изображения агрегатов купина-1.1 действительно указывают на наличие короны на их поверхности [1]. Второй локальный максимум динамической поверхностной упругости, вероятно, вызван взаимодействиями жестких ядер агрегатов, что, в конечном счете, приводит к образованию многослойных структур при высоких поверхностных давлениях. В этом случае поверхностная упругость начинает снижаться в результате массообмена между различными слоями на межфазной границе [3].

Список литературы:

[1] Antonets K. S., Belousov M. V., Sulatskaya A. I., Belousova M. E., Kosolapova A. O., Sulatsky M. I., Andreeva E. A., Zykin P. A., Malovichko Y. V., Shtark O. Y., Lykholay A. N., Volkov K. V., Kuznetsova I. M., Turoverov K. K., Kochetkova E. Y., Bobylev A. G., Usachev K. S., Demidov O. N., Tikhonovich I. A., Nizhnikov A. A. *PLOS Biology* **18** (7), e3000564 (2020).

[2] Pinaud F., Geisel K., Massé P., Catargi B., Isa L., Richtering W., Ravaine V., Schmitt V. *Soft Matter* **10** (36), 6963–6974 (2014).

[3] Bykov A. G., Lin S. Y., Loglio G., Lyadinskaya V. V., Miller R., Noskov B. A. *Colloids Surf A* **354** (1-3), 382-389 (2010)

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проект № 21-13-00039.

ТРЕХМЕТРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАКРОПОРИСТЫЕ МАТРИЦЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИКАПРОЛАКТОНА И НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ОЛИГОМЕРАМИ ГЛУТАМИНОВОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ ОСТЕОПЛАСТИКИ

Соломаха О.А.¹, Степанова М.А.¹, Гофман И.В.¹, Сердобинцев М.С.²,
Нащекина Ю.А.³, Виноградова Т.И.², Коржиков-Влах В.А.^{1,4}, Коржикова-Влах Е.Г.¹

¹Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук

²Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт
фтизиопульмонологии, г. Санкт-Петербург

³Институт цитологии Российской академии наук, г. Санкт-Петербург

⁴Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии
solomanya@bk.ru

Целью данной работы являлось получение трехмерных композиционных макропористых матриц на основе поли-ε-капролактона (ПКЛ) и нанокристаллической целлюлозы, модифицированной олигомерами глутаминовой кислоты (НКЦ-ОГлу), для получения остеопластического материала, который служит биосовместимой матрицей для воссоздания костной ткани в период ее регенерации и способен полностью замещаться собственной тканью пациента. Полученные частицы НКЦ-ОГлу были исследованы методами термогравиметрического анализа, ИК- и ЯМР спектроскопии, динамического и электрофоретического рассеяния света. На основе ПКЛ были изготовлены трехмерные композиционные макропористые матрицы с различным содержанием НКЦ-ОГлу (5 и 10 масс%) с помощью технологии 3D-печати методом послойного наплавления, а также изучены механические и биологические свойства полученных матриц *in vitro* и *in vivo*. С помощью сканирующей электронной микроскопии было показано, что частицы НКЦ-ОГлу не образуют крупных агрегатов и лучше распределяются в массе ПКЛ, по сравнению с не модифицированными частицами. Кроме того, данные материалы обладают достаточной механической прочностью и являются подходящими для восстановления дефектов трабекулярной кости человека. Полученные материалы не обладают цитотоксичностью, эффективны в адгезии и поддержании роста мезенхимальных стволовых клеток (МСК) на своей поверхности и способны стимулировать биоминерализацию. Матрицы, содержащие на поверхности аутологичные МСК, были имплантированы в бедренную кость кроликов. Исследование регенерации костной ткани выявило быстрое восстановление костного дефекта (55% покрытия кости через 3 месяца), а также отсутствие токсичности исследуемого материала.

Благодарности

Сканирующая электронная микроскопия и ИК-спектроскопия выполнены при поддержке Минобрнауки России (Мегагрант № 075-15-2021-637) с использованием оборудования ресурсных центров Научного парка СПбГУ «Нанотехнологии» и «Методы анализа состава вещества», соответственно.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА И pH СРЕДЫ НА ПРОЦЕСС СЛОЖНОЙ КОАЦЕРВАЦИИ И ГЕЛЕОБРАЗОВАНИЕ СТРУКТУР (БИО)ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ХИТОЗАН/ЖЕЛАТИН

Литвинов М.Ю., Подшивалов А.В., Кашурин А.И.

*Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург
mikhail.litvinov.1996@mail.ru*

В настоящее время большой научный интерес представляют (био)полиэлектrolитные комплексы ((био)ПЭК) состава хитозан/желатин ввиду их потенциального применения в качестве доступных и эффективных носителей лекарственных препаратов и биорезорбируемых каркасов для тканевой инженерии. Данные комплексы в зависимости от зарядовой стехиометрии могут образовывать как водорастворимые нестехиометрические коацерваты, так и нерастворимые стехиометрические гели. Однако использование подобных комплексов ограничено узким диапазоном их полиэлектролитного связывания, определяемого положением изоэлектрической точки желатина и протонированием хитозана [1]. Также недостаточно изучено влияние конформационных изменений биополимеров в зависимости от уровня кислотности среды и их соотношения в растворе на структуру и размер формируемых первичных структур (био)ПЭК, а также структурно-механические свойства самосборных стехиометрических гелей. В ходе работы хитозан с $MM = 206 \pm 1,5$ кДа и $CD = 83,1$ % и желатин типа Б с $MM = 63,1 \pm 8,7$ кДа и ИЭТ $4,7 \pm 0,3$ были использованы для получения дисперсий. Форму и размер первичных комплексов изучали в разбавленных растворах хитозана с $C = 0,1$ мас.% и желатина 0,5 мас.% при $pH = 3-6,5$. Гели на основе коацерватов (био)ПЭК получали из смеси хитозана с $C = 1$ мас.% и желатина 4 мас.% при $pH = 5-6,5$ и соотношении хитозан:желатин 1:1-30. В ходе работы при помощи динамического-рассеяния света было установлено, что смеси хитозана и желатина при pH ниже ИЭТ образуют неэлектростатически связанные водорастворимые комплексы, формирующие агрегированные структуры пластинчатого типа при соотношении хитозан:желатин выше 1:10. Также было установлено, что при pH выше ИЭТ образуются первичные коацерваты (био)ПЭК с диаметром более 500 нм, доля которых увеличивается с 4,5 до 43% при увеличении соотношения до 1:20. Фазовое разделение при образовании стехиометрических комплексов наблюдается при соотношении выше 1:10 и pH в диапазоне от 5,5 до 6,5 при этом образуются полидисперсные коацерваты с диаметром от 4 до 8 мкм. Коацерваты стехиометрических (био)ПЭК формируют гели, вязкоупругие свойства которых сильно зависят от температуры и уровня pH . Анализ вязкоупругих свойств гелей показал, что максимальным модулем упругости 2600 ± 20 Па обладают гели при соотношении хитозан:желатин 1:20 и $pH = 6$, полученные при температуре выше 30 °С, что в 8-10 раз выше значений полученных при более низких температурах.

Список литературы: [1] Prata A.S., Grosso C.R.F. Carbohydrate Polymers. **116**, 292 (2015).
Благодарности Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ № МК-5304.2022.1.3 (Соглашение № 075-15-2022-690).

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ С ДОБАВЛЕНИЕМ ПРИРОДНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ

Варьян И.А.^{1,2}, Попов А.А.^{1,2}

¹ФГБУН Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля Российской Академии наук, г. Москва

²ФГБОУ ВО Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, г. Москва

ivetta.varyan@yandex.ru

Полимеры на нефтяной основе широко используются в производстве различных полимерных изделий. Однако истощение нефтяных ресурсов, а также сильный перепад цен на нефть вызывают глобальную озабоченность в связи с производством синтетических полимеров. Кроме того, использование полимеров на нефтяной основе вызывает серьезную озабоченность защитников окружающей среды, поскольку большинство этих полимеров сохраняются в окружающей среде в виде неразлагаемых отходов. В работе обозначена важная экологическая проблема - постоянно увеличивающееся количество отходов синтетических полимерных материалов и их негативное воздействие на окружающую среду. Решением данной проблемы по мнению ряда специалистов, является создание материалов, способных после эксплуатации подвергаться биоразложению под действием микроорганизмов. При этом в настоящее время наиболее актуальным является придание свойств биоразлагаемости крупнотоннажным традиционным полимерам (полиэтилен, полипропилен и др.). Важным фактором, определяющим стойкость полиэтилена и подобных полимеров к биоразложению, является величина молекулярная масса. Наиболее оптимальным вариантом решением данной проблемы является разработка композитов на полимерной основе с добавками природных компонентов. В данной работе перечислены основные, используемые при разработке биоразлагаемых материалов наполнители полимерной матрицы и отмечены существующие помехи для широкого внедрения и производства биополимерных композитов. Особое внимание уделено одному из направлений исследований в разработке полимерных композиционных материалов - исследованию биоразлагаемых композиций на основе полиолефинов и каучука с добавлением дисперсного наполнителя.

Благодарности

Настоящая работа была выполнена с использованием оборудования центра коллективного пользования (ЦКП) ФГБУН «ИБХФ им. Н.М. Эмануэля» РАН «Новые материалы и технологии» и ЦКП ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова».

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИЕМОВ КРИОГЕННОГО СТРУКТУРИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ БИМЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Лозинский В.И.

*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова
Российской Академии наук, г. Москва
loz@ineos.ac.ru*

Криогенное структурирование (или криоструктурирование) является эффективным методом создания семейства таких макропористых полимерных материалов, как различные *криогели* и *криоструктураты* [1]. Первые из них получаются, когда в объеме незамерзшей микрофазы макроскопически замороженной системы происходит формирование ковалентных или нековалентных узлов трехмерной полимерной сетки (этот процесс называют *криотропным гелеобразованием*). Если же собственно гелеобразования нет, то после удаления замороженного растворителя, например, сублимацией или криоэкстракцией, получают полимерные объекты, называемые *криоструктуратами*. Принципиальной особенностью и криогелей, и криоструктуратов является их макропористость, формируемая поликристаллами замороженного растворителя. При этом большинство макропор взаимосвязаны, а их форма и размеры зависят от многих факторов, в частности, от используемого растворителя, химической природы, исходной концентрации и состава предшественников, а также от режимов всех последовательных стадий криогенного структурирования: замораживания, далее инкубации в замороженном состоянии и затем оттаивания или удаления закристаллизованного растворителя. Именно особая макропористость в сочетании во многих случаях с хорошими механическими свойствами различных криогелей и криоструктуратов, особенно на основе биосовместимых полимеров, делает такие высокопористые матрицы перспективными материалами биомедицинского назначения.

В лаборатории автора доклада разработан и совместно со специалистами биомедицинских дисциплин испытан ряд новых криогенно-структурированных носителей лекарственных средств, дренажных и кровоостанавливающих покрытий на раны и ожоги, материалов для костной и хрящевой хирургии, широкопористых подложек для объемного культивирования клеток (в том числе и стволовых), предназначенных для использования в клеточной и тканевой инженерии, и др.[2] Полученные в этих исследованиях данные подтверждают широкие возможности методологии криоструктурирования для создания перспективных макропористых полимерных материалов биомедицинского назначения.

Список литературы:

[1] *Lozinsky, V.I. Gels* **4** (3), #77 (2018).

[2] *Lozinsky, V.I. Gels* **6** (3), #29 (2020).

Благодарности

Работа поддерживалась программами Государственного задания №075-03-2023-642 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

НЕКОВАЛЕНТНЫЕ (НАТУРАЛЬНЫЕ И СИНТЕТИЧЕСКИЕ) НАНОГЛИКОКОНЬЮГАТЫ ФЛАВОНОИДОВ И НАНОБИОКОМПОЗИТЫ НА ИХ ОСНОВЕ: ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКИЙ И БИМЕДИЦИНСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ

Сухов Б.Г.¹, Трофимов Б.А.², Рэгдэл Д.³

¹*Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского
Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск*

²*Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского
Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск*

³*Институт химии и химической технологии Монгольской академии наук,
г. Улан-Батор
boris_sukhov@mail.ru*

Будет обсуждаться полученный комплекс физико-химических данных о том, что в растениях и других живых системах водорастворимые полисахариды и практически нерастворимые в воде биофлавоноиды могут существовать в виде нативных, хорошо растворимых в воде, нековалентных наногликоконъюгатов флавоноидов. Нековалентное конъюгирование полисахаридов с биофлавоноидами в водных растворах сопровождается сдвигом потенциального кето-енольного равновесия от наблюдаемых исключительно енольных форм флавоноидов, дополнительно стабилизированных внутримолекулярной водородной связью, в сторону впервые детектируемых комплексом физико-химических методов, ранее не известных 1,2-дикето-форм. Эти обнаруженные высокорекреационноспособные формы заставляют обратить на себя внимание как на один важнейший, не учитываемый ранее, канал реализации богатой биологической активности флавоноидов, а также как на новый путь обширной синтетической модификации флавоноидов по 1,2-дикето-группам, например, различными циклизациями.

Будет обсуждаться встречный синтез подобных наноконъюгатов полисахаридов и флавоноидов, а также их использование для получения разнообразных гибридных неорганно-органических наноконъюгатов полисахаридов [1-2]. Значительное внимание в докладе будет уделено особенностям строения, синтетическому и разнообразному биомедицинскому потенциалу новых водорастворимых гибридных неорганно-органических нанобиоконъюгатов полисахаридов и флавоноидов.

Список литературы:

- [1] *Lesnichaya M.V., Sukhov B.G. et al. Carbohydr. Polym. 175, 18 (2017).*
- [2] *Khutsishvili S.S., Tikhonov N.I. et al. J. Therm. Anal. Calorim. 137 (4), 1181 (2019).*
- [3] *Lesnichaya M.V., Shendrik R.Y. et al. J. Lumin. 211, 305 (2019).*
- [4] *Perfileva A.I., Nozhkina O.A. et al. Int. J. Mol. Sci. 22 (9), 4576 (2021).*
- [5] *Lesnichaya M.V., Sukhov B.G. et al. Coll. Surf. B: Biointerf. 197, 111381 (2021).*
- [6] *Perfileva A.I., Tsivileva O.M. et al. Nanomater. 11 (9), 2274 (2021).*
- [7] *Perfileva A.I., Graskova I.A. et al. Agronomy. 12 (6), 1281 (2022).*

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РЦНИ (грант 20-53-44002_Монг_а)

СТРУКТУРА ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ СВЕРХРАЗВЕТВЛЕННОГО АНИОННОГО ПОЛИСАХАРИДА ФУКОИДАНА С ХИТОЗАНОМ

Гасилова Е.Р.¹, Скорик Ю.А.¹, Пошина Д.А.¹, Сапрыкина Н. Н.¹, Ситникова А.О.^{1,2}

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург
mrs gas@mail.ru*

Полиэлектролитные комплексы (ПЭК) между полисахаридами интересны в качестве биоактивных, биоразлагаемых и биосовместимых средств доставки лекарств. Нами исследованы ПЭК на основе сверхразветвленного полианионного полисахарида фукоидана и нескольких катионных линейных полисахаридов - хитозанов различной молекулярной массы и степени дезацетилирования. Несмотря на большое число прикладных работ по ПЭК фукоиданов с хитозанами [1], особенностям комплексообразования хитозанов со сверхразветвленными представителями семейства фукоиданов не уделялось внимания. Это неудивительно, ввиду малочисленности работ по ПЭК между макромолекулами сверхразветвленного и линейного полиэлектролитов. В основном, подобные ПЭК были исследованы с помощью молекулярного моделирования [2]. Экспериментальные работы посвящены, в основном, связыванию ДНК с синтетическими катионными разветвленными полиэлектролитами [3], однако небольшие размеры последних не позволяли исследовать внутреннюю структуру ПЭК с помощью статического рассеяния света (СРС). Благодаря субмикронным размерам макромолекул сверхразветвленного фукоидана *Fucus Vesiculosus*, его разветвленность была оценена с помощью СРС [4]. В настоящей работе с помощью СРС, динамического и электрофоретического рассеяния света оценены внутренняя структура как исходного разветвленного фукоидана *Fucus Vesiculosus*, так и его ПЭК с хитозанами различной молекулярной массы и степени дезацетилирования. Исследованы зависимости радиусов инерции, гидродинамических радиусов, фрактальных размерностей и ζ -потенциалов наночастиц ПЭК от состава. Особенности комплексообразования подтверждены микрофотографиями, полученными с помощью атомно-силовой и сканирующей электронной микроскопии.

Список литературы:

- [1] *Dubashynskaya N. V., Gasilova E.R., Skorik Y.A. Int. J. Mol. Sci. 24, 2615 (2023).*
- [2] *Lyulin S., Karatasos K., Darinskii A., Larin S., Lyulin A., Soft Matter. 4, 453 (2008).*
- [3] *Selianitis D., Katifelis H., Gazouli M., Pispas S. Pharmaceutics 15, 1627 (2023).*
- [4] *Gasilova E.R., Lapina I.V., Kulminskaya A.A., Skorik Yu.A. Colloid Polym.Sci. 298, 1349 (2020).*

Благодарности

Авторы благодарят к.фарм.н. Дубашинскую Н.В. за помощь в измерениях.
Работа поддержана грантом РНФ и Спб_РНФ № 23-23-10005.

ГИБРИДНО-МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТЫ НАНО-БИО-СЕЛЕКТИВНОЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ВИРУСОВ

Сербин А.В.^{1,2}, Алиханова О.Л.^{1,2}

¹Институт нефтехимического синтеза Российской академии наук,
г. Москва

²ИЦ биомодуляторов и лекарственных систем НИФ Здоровья,
г. Москва
serbin@ips.ac.ru

Обобщены направления проектирования, целенаправленного синтеза и гибридной модификации полимерных электролитов противовирусного назначения, где полимерная часть включает в себе не столько вспомогательную функцию «носителя» известных низкомолекулярных лекарств (НМЛ), сколько роль *фундаментальной основы* принципиально новых лекарственно активных систем, работающих именно на *высокомолекулярном уровне* (ВМЛ). При этом, недостаточно эффективные, разрозненные хаосом теплового движения в пространстве и во времени потенциалы «малых» молекулярных форм ковалентно консолидируются в рационально организованные макромолекулы, способные к согласованному многоточечному, высокоэнергетическому (и избирательному) воздействию на наноразмерные вирусные мишени.

Возможности создания и эффективность целевых ВМЛ препаратов рассмотрены на экспериментальных примерах анионных полиэлектролитов, содержащих в основной цепи повторяющиеся фрагменты янтарной кислоты (ВМЛ^{ЯК}) – центры анионной ионизации и, одновременно, – активных доноров водородных связей (~50:50% при рН ≈ 4↔9). Отработаны и использованы методы синтеза высоко реакционноспособных ангидридных (ВМЛ^{ЯА}) прекурсоров ВМЛ^{ЯК}, в том числе, в режимах ОПЦ- контролируемой сополимеризации [1]. Кинетическими и квантово-химическими методами исследованы механизмы реакций и факторы регуляции молекулярных масс, а в случае циклосополимеризации – также и изомерного состава [2,3]. Порционно-контролируемая последовательность аминолита, алкоголиза и гидролиза ангидридных центров ВМЛ^{ЯА} позволила внедрять в боковые позиции разнообразные лиганды желаемой природы в заданных пропорциях, получая на выходе гибридно-модифицированные производные ВМЛ^{ЯК}, оптимально «настраиваемые» на подавление вирус- специфических наномишеней ВИЧ, гриппа, герпеса, и др. Результативность противовирусной активности подтверждена *in vitro/vivo* [2,4], а механизмы нано- селективной блокады ключевых вирусных мишеней – моделированием *in silico* [5].

Список литературы:

- [1] Serbin A. V., Karaseva E. N., Dunaeva I. V., et al. Polym. Sci. В **53**(3/4) 116, (2011).
- [2] Сербин А.В. Дисс. д.х.н., Москва, 333 с. (2005)
- [3] Bolshchikov B.D., Tsvetkov V.B., Alikhanova O.L., Serbin A.V. Macromol. Chem. Phys.s. 2019, V. **220**(23), 1900389 (2019).
- [4] Алиханова О.Л., Егоров Ю.А., Сербин А.В. Межд. конф. «Прогресс науки химии, технологии и экологии» Душанбе (2023) 9-11, 246-248.
- [5] Tsvetkov V. B., Serbin A. V. J. Comp.-Aid. Mol. Des. **28**(6) 647 (2014).

РАЗРАБОТКА ГИДРОГЕЛЕВЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА ПОЛИ(2-ЭТИЛ-2-ОКСАЗОЛИНА) С ИОДОМ

Махаева Д.Н.¹, Ирмухаметова Г.С.¹, Хуторянский В.В.²

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

²Университет Рединга, г. Рединг, Великобритания
danelya.1993@gmail.com

Бактериальный вагиноз (БВ) – распространенная вагинальная инфекция, вызванная изменением микробиоты во влагалище, при котором происходит увеличение рН. Одной из наиболее распространенных бактерий, обнаруживаемых при БВ, является *Gardnerella vaginalis*, которая относится к категории анаэробных факультативных бактерий. В настоящее время доступным лечением БВ является использование антибиотиков, таких как метронидазол, в лекарственных формах для местного и перорального применения [1]. Комплексы полимеров с иодом также являются эффективными при лечении данного заболевания [200]. В связи с этим целью настоящей работы является разработка новых биосовместимых полимерных композиций на основе комплекса поли(2-этил-2-оксазолина) (ПЭОЗ) с широко используемым биоцидом – иодом - для вагинального применения. Были получены гидрофильные композиции на основе карбопола 940 и комплекса иода с ПЭОЗ (50 и 500 кДа) с различным содержанием карбопола. В работе исследованы реологические свойства полученных гидрогелевых композиций на основе комплексов иода с ПЭОЗ и карбополом различной концентрации. Установлено, что рост концентрации карбопола приводит к увеличению вязкоупругих свойств гелей. Наибольшими значениями и интервалом изменения напряжения сдвига закономерно обладают гели с концентрацией карбопола 1,25 % для ПЭОЗ 50-иод/иодид и ПЭОЗ 500-иод/иодид. Для гидрогеля карбопол 1,25 % с ПЭОЗ 500-иод/иодид-карбопол значение напряжения сдвига увеличивается в три раза по сравнению с ПЭОЗ 50-иод/иодид. Методом *in vitro* была изучена кинетика высвобождения иода из гидрогелей. Из кумулятивного профиля высвобождения иода видно, что гидрогели, содержащие комплексы ПЭОЗ-иод/иодид показывают меньшее количество высвобождения иода вследствие частичного его связывания с ПЭОЗ. При этом образец с ПЭОЗ 500 кДа высвобождает больше иода по сравнению с ПЭОЗ 50 кДа. Впервые исследованы мукоадгезивные и местнораздражающие свойства полученных иодсодержащих композиций на основе ПЭОЗ по отношению к среде влагалища самок лабораторных кроликов. Установлено, что композиции не изменяют рН влагалища животных, количество лейкоцитов и эпителиальных клеток и не оказывают местнораздражающего действия. Результаты *in vivo* исследования мукоадгезивных свойств гидрогелей показали, что композиции удерживаются во влагалище в течение 48 часов. Полученные иодсодержащие композиции могут быть рекомендованы для создания антимикробных вагинальных лекарственных форм.

Список литературы:

[1] Utomo E., Dominguez-Robles J., Anjani Q.K., Picco C.J., Int. J. Pharm.: X., 5(1), 100142 (2023). [2] Wewalka G., Stary A., Bosse B., Duerr H.E., Reimer K., Dermatology., 204, 79 (2002).

СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ДЕКСАМЕТАЗОН ФОСФАТА НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ

Бокатый А.Н., Дубашинская Н.В., Скорик Ю.А.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
qwezakura@yandex.ru*

Одной из стратегий улучшения биофармацевтических свойств известных активных фармацевтических ингредиентов (АФИ) является разработка на основе нанотехнологий систем доставки лекарственных средств, например, в виде полимерных нано- и микрочастиц. Частицы в виде интерполимерных полиэлектролитных комплексов (ПЭК) на основе биоразлагаемых полимеров являются привлекательным выбором для доставки противовоспалительных средств в глаза [1].

Цель настоящей работы заключалась в разработке подходящей системы для улучшения местной доставки глюкокортикоидов в глаза на основе ПЭК НА-DEAECS, обеспечивающих пролонгированное высвобождение и противовоспалительную активность. Мы выбрали водорастворимый дексаметазонфосфат (DexP) в качестве модельного глюкокортикоида. DexP является одним из наиболее эффективных средств лечения воспалительных заболеваний, но его высокая системная токсичность, необходимость длительного курсового введения и дозозависимые тяжелые побочные эффекты ограничивают его медицинское применение [2]. Инкапсулирование DexP в ПЭК на основе мукоадгезивных полисахаридов обеспечивает их контролируемое высвобождение и адресную доставку, а также увеличивает время пребывания на слизистой оболочке глаза, тем самым снижая дозировку и частоту побочных эффектов [3]. Кроме того, использование сульфата цинка в качестве сшивающего агента может быть полезным не только для продления высвобождения DexP, но и для усиления/синергизации его фармакологического действия за счет его собственной биологической активности (в том числе противовоспалительной, противомикробной, ранозаживляющей).

Список литературы:

- [1] C.-H. Tsai, P.-Y. Wang, I.-C. Lin, H. Huang, G.-S. Liu, C.-L. Tseng International journal of molecular sciences **19**(9) (2018)
- [2] N.V. Dubashynskaya, A.N. Bokaty, Y.A. Skorik Biomedicines **9**(4) (2021)
- [3] V. Dubey, P. Mohan, J.S. Dangi, K. Kesavan International journal of biological macromolecules **152** (2020)

Благодарности

Исследования на противовоспалительную активность ПЭК были проведены в институте экспериментальной медицины. Авторы выражают искреннюю благодарность заведующему лаборатории клеточной иммунологии Кудрявцеву И.В. и научному сотруднику лаборатории А.С. Трулёву.

КАПСУЛЫ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И ФОСФАТА ПУЛЛУЛАНА ДЛЯ КОНТРОЛИРУЕМОГО ВЫСВОБОЖДЕНИЯ ТЕМОЗОЛОМИДА

Огородников В.Э.^{1,2,3}, Корчевская А.Г.^{1,2,3}, Пристромова Ю.И.^{1,2,3}, Едчик А.В.^{1,2,3},
Барановская А.В.^{1,2,3}, Бычковский П.М.^{1,2}, Юркштович Т.Л.^{1,2}

¹Научно-исследовательский институт физико-химических проблем
Белорусского государственного университета, Минск, Республика Беларусь
²Унитарное предприятие «УНИТЕХПРОМ БГУ», Минск, Республика Беларусь
³Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь
aharodnikau.u@gmail.com

Фосфаты полисахаридов, характеризующиеся малой токсичностью, биodeградируемостью, биосовместимостью, высокой сорбционной емкостью по отношению к низко- и высокомолекулярным биологически активным веществам, являются перспективными материалами для доставки лекарственных средств [1]. Однако взрывное высвобождение лекарств из полиэлектролитов, в том числе из материалов на основе фосфатов полисахаридов может привести к повышению концентрации лекарств в организме человека до критического уровня [2]. Поэтому разрабатывается большое количество материалов и подходов для предотвращения вредного действия лекарств в начале процесса высвобождения, в том числе биополимеры и полиэлектролитные комплексы [3].

В данной работе были успешно получены капсулы на основе хитозана и гелеобразующего фосфата пуллулана путем формирования полиэлектролитного комплекса. Результаты высвобождения темозоломида показали низкую скорость высвобождения противоопухолевого вещества. Результаты данной работы – первый шаг для дальнейшего изучения физико-химических свойств и потенциального использования полученных образцов в качестве основы для создания противоопухолевых препаратов.

Список литературы:

- [1] S.O. Solomevich, P.M. Bychkovsky, T.L. Yurkshtovich, N.V. Golub, P.Y. Mirchuk, M.Y. Revtovich, A.I. Shmak Carbohydr. Polym. **226**, 115308 (2019).
[2] Sergey O. Solomevich, Uladzislau E. Aharodnikau, Egor I. Dmitruk, Pavel A. Nikishau, Pavel M. Bychkovsky, Daria A. Salamevich, Guohua Jiang, Kirill I. Pavlov, Yanfang Sun, Tatiana L. Yurkshtovich International Journal of Biological Macromolecules. **228**, 273-285 (2023).
[3] S.O. Solomevich, E.I. Dmitruk, P.M. Bychkovsky, D.A. Salamevich, S.V. Kuchuk, T. L. Yurkshtovich Int. J. Biol. Macromol. **169**, 500-512 (2021).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Государственной программы научных исследований Республики Беларусь (2021–2025 годы, программа «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорганическая химия», грант № 2.2.02.07).

РЕОЛОГИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ТРОЙНЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ПЛА-ПЭГ-ПЛА

Семкина А.С.^{1,2}, Загоскин Ю.Д.², Кузнецов Н.М.², Чвалун С.Н.^{1,2}

¹*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,
г. Москва*

²*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г.Москва
anya.semkina.97@bk.ru*

На сегодняшний день тканевая инженерия предлагает различные пути решения проблем регенерации и восстановления поврежденных или утраченных тканей и органов. Важнейшей составляющей любой тканеинженерной конструкции является каркас из природных или синтетических источников с подходящими структурными, морфологическими и механическими свойствами для конкретного применения. Современная технология трехмерной (3D) печати привлекает большое внимание исследователей при создании инженерных каркасов различных архитектур. Основной проблемой использования данной технологии в рассматриваемой области является чрезвычайно узкий круг подходящих по свойствам материалов для печати. В последние десятилетия гидрогели на основе биоразлагаемых полимеров привлекают внимание ученых благодаря возможности их использования в биомедицинских целях: при доставке лекарственных средств, в качестве имплантатов мягких тканей и основы биомедицинских устройств. Биосовместимые резорбируемые амфифильные блок-сополимеры полилактида (ПЛА) и полиэтиленгликоля (ПЭГ) оказались способны к самоорганизации в воде в термочувствительные гидрогелевые структуры. Варьируя полимерный состав и концентрацию полимера, можно настраивать их физико-механические характеристики для конкретного применения, что делает данные материалы привлекательными в технологии трехмерной биопечати [1-2].

Целью данной работы было изучение реологических свойств физических гидрогелей на основе амфифильных тройных блок-сополимеров ПЛА-ПЭГ-ПЛА различного состава. Была получена серия тройных блок-сополимеров со степенью полиэтиленгликоля 104, степени полимеризации поли-D,L-лактидного – 11, 25 и 52. Для изучения реологических свойств гидрогелей были проведены частотные, температурные и тиксотропные тесты на ротационном реометре Anton Paar Physics MCR-502 (со встроенной системой Пельтье).

Установлено, что с увеличением молекулярной массы гидрофобных блоков повышается температура золь-гель перехода. Растворы с меньшей концентрацией сополимера совершают переход золь-гель при более низкой температуре. Показано, что гидрогели обладают тиксотропным поведением при 25 °С, что позволяет использовать их при экструзионной биопечати.

Список литературы:

[1] Shi J., Yu L., Ding J. *Acta Biomaterialia*. **128**, 42 (2021). [2] Cui S., Yu L., Ding J. *Macromolecules*. **51** (16), 6405 (2018).

Благодарности Исследование выполнено за счет средств госзадания НИЦ «Курчатовский институт».

НАНЕСЕНИЕ БИОАКТИВНЫХ КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОЛИЭФИРКЕТОКЕТОН ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОСТЕОИНТЕГРАЦИИ

Акимченко И.О.¹, Горениский С.И.¹, Сударев Е.А.¹, Булдаков М.А.²,
Джавтаева Д.Х.³, Твердохлебов С.И.¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск

²НИИ онкологии Томского национального исследовательского медицинского
центра РАН, г. Томск

³Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск
akimchenko.igor@gmail.com

Полиэфиркетонкетон (ПЭКК) — конструкционный пластик из семейства полиарилэфиркетонов, который благодаря схожим механическим свойствам с человеческой костью [1], используется для изготовления имплантатов [2]. Для улучшения их остеоинтеграции применяются различные покрытия из гидроксиапатита (ГАП). Цель данной работы заключалась в разработке метода нанесения ГАП на поверхность ПЭКК, основанного на выдерживании образцов в суспензии мелкодисперсного ГАП в гексафторизопропанол (ГФИП).

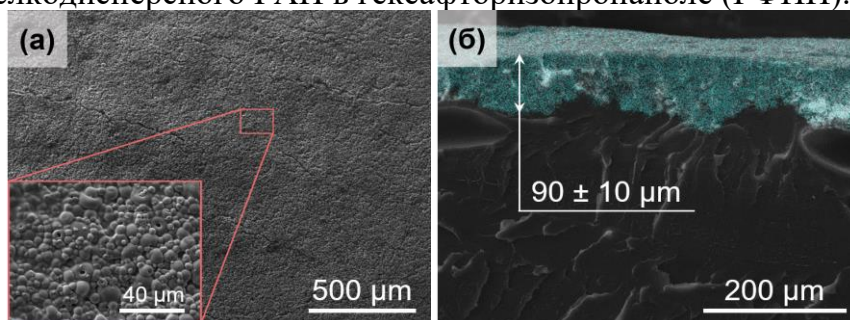


Рис. 1 - СЭМ изображения поверхности модифицированного образца (а) и его поперечного среза (б) (голубые точки – атомы Са, обнаруженные ЭДС).

На поверхности ПЭКК был сформирован равномерный слой ГАП (рис. 1а) толщиной до 90 ± 10 мкм (рис. 1б, голубые точки). При этом краевой угол смачивания поверхности водой уменьшился с $85 \pm 9^\circ$ до $65 \pm 6^\circ$, что свидетельствует об увеличении гидрофильности поверхности. Результаты *in vitro* исследований показали, что мультипотентные мезенхимальные стволовые клетки сохраняли высокую жизнеспособность после их культивирования с модифицированными образцами.

Список литературы:

- [1] Alqurashi H., Khurshid Z., Syed A.U.Y., Habib S.R., Rokaya D., Zafar M.S. Journal of Advanced Research **28** 87-95 (2021).
[2] Alonzo M., Primo F.A., Kumar S.A., Mudloff J.A., Dominguez E., Fregoso G., Ortiz N., Weiss W.M., Joddar B. Current opinion in biomedical engineering **17** 100248 (2021).

Благодарности

Работа поддержана Минобрнауки, проект Наука FSWW-2023-0007.

НОВЫЕ ПОЛИМЕРАНАЛОГИЧНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ХИТИНА И ХИТОЗАНА

Критченков А.С.^{1,2}

¹*Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, Институт экологии, Факультет физико-математических и естественных наук, Объединенный институт химических исследований, г. Москва*

²*Институт технической акустики Национальной академии наук Беларуси, г. Витебск
platinist@mail.ru*

До недавнего времени химия природных полисахаридов хитина и хитозана в значительной степени была ограничена традиционными органическими реакциями. Расширение круга полимераналогичных превращений, в которые могут быть вовлечены хитин и хитозан, является важной и актуальной задачей современной химии высокомолекулярных соединений. Новые полимераналогичные превращения указанных полисахаридов позволят получить новые их полимеры с привлекательными физико-химическими, механическими и биологическими (в том числе и фармакологическими) свойствами.

В нашей научной группе в данной области проводятся исследования в двух направлениях: (1) промотируемые ультразвуком новые полимераналогичные производные хитина и хитозана и (2) электрохимические полимераналогичные превращения хитина и хитозана. В результате развития указанных направлений нами внедрены в химию хитина и хитозана ультразвуковое тиол-иновое и фенол-иновое присоединение, нитрон-нитрильное 1,3-диполярное циклоприсоединение, электрохимическое прямое *N*-арилирование, получены новые высокоактивные антибактериальные полимеры, плёнки и пищевые покрытия на их основе, наночастицы и системы доставки лекарств. Этим и другим достижениям в химии полисахаридов будет посвящен данный доклад.

Список литературы:

[1] *Kritchenkov A. S., Zhaliuzniak N. V., Egorov A. R., Lobanov N. N., Volkova O. V., Zabodalova L. A., Suchkova E. P., Kurliuk A. V., Shakola T. V., Rubanik V. V., Rubanik V. V., Yagafarov N. Z., Khomik A. S., Khrustalev V. N. Carbohydrate Polymers* **242** (2020).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РНФ, проект 22-23-00044.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА В РАСТВОРЕ СУКЦИНИЛ ХИТОЗАНА

Футорянская А.М., Александрова В.А.

*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, г. Москва
futoryanskaya@ips.ac.ru*

В связи с резко возросшей в последнее время резистентностью различных микроорганизмов к антибиотикам, возникает необходимость поиска новых антибактериальных средств с иным механизмом действия. Таким образом, синтез и изучение макромолекулярных систем, на основе нетоксичных полимеров природного происхождения и наночастиц металлов, обладающих бактерицидной активностью, в частности серебра, является актуальной и перспективной задачей. С учетом этого, в качестве полимерной матрицы-стабилизатора для синтеза наночастиц серебра (НЧА_g) использовали нетоксичный водорастворимый биополимер – сукцинил хитозан (СХТЗ).

Настоящее исследование посвящено изучению влияния условий синтеза на процесс формирования НЧА_g, стабилизированных СХТЗ, а также определению бактерицидной активности полученного коллоидного раствора. Синтез НЧА_g осуществляли с использованием микроволнового излучения в присутствии восстановителя D-глюкозы. В результате проведенных исследований были установлены закономерности формирования НЧА_g в полимерной матрице СХТЗ в зависимости от условий синтеза (соотношение D-глюкозы и AgNO₃, продолжительность СВЧ-экспозиции).

Образование НЧА_g в макромолекулярной системе подтверждали с использованием данных УФ-спектроскопии по появлению полосы поглощения характерной для НЧА_g ($\lambda_{\text{макс.}}$ – 420 нм). Стабильность синтезированных коллоидных растворов, содержащих НЧА_g, стабилизированных СХТЗ оценивали по отсутствию изменений оптической плотности при выдержке полученных коллоидных растворов в темноте при комнатной температуре в течение 6 месяцев. Оценку формы и размеров, синтезированных НЧА_g проводили с использованием метода просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). По данным ПЭМ синтезированные НЧА_g имели сферическую форму, при этом, частицы размером 10–34 нм составляли 94% от их общего количества.

В опытах *in vitro* полученных коллоидных растворов НЧА_g, была подтверждена бактерицидная активность по отношению к штаммам грамположительных бактерий (*Bacillus subtilis* ATCC 6633, *B. coagulans* 429) и определена их минимальная подавляющая концентрация [1].

Полученные коллоидные растворы НЧА_g, стабилизированные СХТЗ, могут найти применение при создании антибактериальных препаратов для регенеративной медицины.

Список литературы:

[1] *Alexandrova V.A., Futoryanskaya A.M. and Sadykova V.S. Appl. Biochem. Microbiol.* **56** (5), 590 (2020).

Благодарности

Работа выполнена в рамках госзадания ИНХС РАН.

ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ НАПОЛНЕННЫЕ СОПОЛИ(УРЕТАН-ИМИДНЫЕ) ПЛЕНКИ В КАЧЕСТВЕ МАТРИЦ И АППЛИКАТОРОВ

Диденко А.Л., Шишов М.А., Камалов А.М., Нестерова А.С., Ваганов Г.В.,
Попова Е.Н., Кодолова-Чухонцева В.В., Иванькова Е.М., Смирнова Н.В.,
Юдин В.Е., Кудрявцев В.В.

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург
vanilin72@yandex.ru*

Исследование связано с изучением новых перспективных наполненных электропроводящих сополи(уретан-имидных) (СПУИ) [1-2] пленок в качестве аппликаторов и матриц для клеточных субстратов. Материалы на основе СПУИ обладают большим потенциалом для их практического использования в биомедицинских приложениях и технологиях. В качестве наполнителей были использованы углеродоподобные частицы: графен и сажа. Данные СПУИ могут проводить электрический ток, что в современных биологических приложениях и технологиях используется как дополнительный фактор воздействия на биологическое и медицинские объекты и вещества. Подача электрического потенциала на СПУИ матрицы дает возможность стимуляции роста клеток, в случае аппликаторов это приводит к активации лечебных и косметических составов на коже человека. СПУИ биосовместимы с различными клеточными культурами, биологическими жидкостями и животными тканями.

В настоящей работе были получены наполненные СПУИ, содержащие графен (0,5 и 1%вес.) и сажу (5 до 20 %вес.). Проведена управляемая термодеструкция (300 и 350°C) уретановых блоков в СПУИ с целью изменения структуры поверхности полимерных пленок для регулирования роста клеток на их поверхности. Исследованы электрохимические характеристики СПУИ с использованием потенциостата-гальваностата ElinsP40. Проведен посев клеточных культур на СПУИ композитные пленки, для оценки метаболизма клеток использовали МТТ-тест. По итогам МТТ теста все образцы эффективно поддерживают адгезию, обеспечивают выживаемость и пролиферацию клеток. По данным электрохимических исследований самая высокая проводимость имеет место у композита СПУИ + 1% графена. В ходе непрерывного циклирования в условиях электрохимических исследований на протяжении четырех часов токи, протекающие через образцы композитов СПУИ, остаются неизменными, что говорит о стабильности матриц в данных условиях. Композиты СПУИ, наполненные графеном и сажой, перспективны для проведения продолжительной электростимуляции клеточных культур и в качестве аппликаторов для экспонирования медицинских и косметических препаратов.

Список литературы:

[1] *Didenko A.L., Kuznetsov D.A., Smirnova V.E., Popova E.N., Vaganov G.V., Ivanov A.G., Svetlichnyi V.M., Yudin V.E., Kudryavtsev V.V. Russian Chemical Bulletin, 69(2), 369–377. (2020).*

[2] *Диденко А.Л., Иванов А.Г., Смирнова В.Е., Ваганов Г.В., Попова Е.Н., Нестерова А.С., Елоховский В.Ю., Светличный В.М., Юдин В.Е., Кудрявцев В.В. Известия академии наук. Серия химическая. 72 (6), 1377-1387 (2023).*

МУКОАДГЕЗИВНЫЕ ГИДРОГЕЛИ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛЬГИНАТА - ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ НОСИТЕЛИ ЛЕКАРСТВ

Горшкова М.Ю., Ванчугова Л.В., Волкова И.Ф., Валуев И.Л., Григорян Э.С.,
Валуев Л.И.

*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева,
Российской академии наук, г. Москва
mgor@ips.ac.ru*

Создание новых лекарственных систем с регулируемым выделением активного начала с целью повышения эффективности действия лекарства, его переносимости и безопасности применения одно из магистральных направлений развития химии медико-биологических полимеров. В качестве носителей лекарств в таких системах широко применяются полимерные гидрогели - сетки природных или синтетических полимеров, набухающие в воде. В настоящее время особое внимание уделяется созданию многокомпонентных гидрогелей на основе полимеров различной природы, сетки в которых образованы различными типами связей - ковалентными, солевыми, водородными. Такой подход весьма перспективен, поскольку позволяет существенно изменить свойства гидрогеля за счет сочетания свойств компонентов в одном носителе. Рациональный выбор компонентов геля и типа сетки позволяет конструировать системы с желаемым набором свойств - биосовместимостью, чувствительностью геля к внешним воздействиям, регулируемой стабильностью геля, требуемой нагрузкой лекарственного вещества и скоростью высвобождения препарата из полимерной матрицы. Мукоадгезивные гидрогели на основе альгината натрия (ANa) и полидиэтилакриламида (ПДЭММА), обладающие нижней критической температурой смешения (НКТС), синтезировали двумя способами, приводящим к получению гелей с разными типами сеток. Первый способ заключался в проведении полимеризации ДЭММА в присутствии сшивающего агента и ANa, с последующей сшивкой кислотных групп последнего солями металлов. Во втором случае сетки формировались сополимеризацией ненасыщенного производного ANa с ДЭММА в присутствии сшивающего агента. Структуру полученных гидрогелей исследовали методами СЭМ и ИК-Фурье спектроскопии. Наличие альгината в составе гидрогеля придает ему рН-чувствительность не зависимо от способа получения. Возможность регулировать значений НКТС обеспечивает именно образование ковалентных связей макромономера альгината с ПДЭММА. В экспериментах *in vitro* продемонстрирована возможность использования синтезированных гидрогелей в качестве носителей лекарственных соединений с рН-зависимой и терморегулируемой скоростью выделения лекарства.

Список литературы:

- [1] I. Valuev, M. Gorshkova, L. Vanchugova and L. Valuev, Polym. Sci. Ser. A., **61**, 287, (2019).
- [2] M. Gorshkova, I. Volkova, L. Vanchugova, I. Valuev and L. Valuev, Prikl. Biokhim. Mikrobiol., **55**, 1, (2019).
- [3] M. Gorshkova, L. Vanchugova, I. Volkova, I. Obydenova, I. Valuev and L. Valuev, Mendeleev Commun., **32**, 189, (2022).

ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АДсорбЦИОННЫХ И НАНЕСЕННЫХ СЛОЕВ АГРЕГАТОВ БЕЛКОВ НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Носков Б.А., Акентьев А.В., Быков А.Г., Миляева О.Ю., Рафикова А.Р.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,
г. Санкт-Петербург
b.noskov@spbu.ru*

Агрегаты белков находят многочисленные применения в различных отраслях промышленности и в медицине [1]. Во многих случаях, например, при стабилизации пен и эмульсий эффективность использования белковых агрегатов определяется поверхностными свойствами их водных дисперсий. В то же время информация об этих свойствах, как и о свойствах нанесенных пленок агрегатов белков на водной поверхности, оказывается крайне ограниченной. В данной работе к пленкам фибрилл и неупорядоченных агрегатов белков на водной поверхности применены методы поверхностной дилатационной реологии вместе с оптическими методами и атомно силовой микроскопией. Для пленок агрегатов β -лактоглобулина существующие методы очистки не позволили полностью исключить влияние пептидов с низкой молекулярной массой и высокой поверхностной активностью, возникающих при гидролизе белка в процессе образования агрегатов, на свойства адсорбционных пленок. В случае нанесенных пленок поверхностная концентрация примесей оказывается много меньше, и динамическая упругость оказывается в три раза выше, чем для адсорбционных пленок, указывая на образование жесткой структуры. Близкие результаты были получены для водных дисперсий фибрилл лизоцима. В то же время для дисперсий фибрилл α -лактальбумина влияние поверхностно-активных примесей при pH 2 пренебрежимо мало, но возрастает при увеличении pH. При pH 7 фибриллы становятся неустойчивыми, и измерение динамических поверхностных свойств позволяет следить за кинетикой их разрушения.

Список литературы:

- [1] Noskov B., Bykov A., Gochev G. et al. Adv. Colloid Interface Sci., **276**, 102086 (2020).
[2] Noskov B., Rafikova A., Milyaeva O. J. Molecular Liq. **351**, 118658 (2022).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-13-00039).

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В РАСТВОРАХ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ: ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРОСКОПИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Зубанова Е.М.¹, Сименидо Г.А.¹, Иванова Т.А.¹, Голубева Е.Н.^{1,2}

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, химический факультет, г. Москва

²Институт регенеративной медицины, ПМГМУ им. Сеченова И.М.,
г. Москва

kate_zub@mail.ru

Термочувствительные полимеры находят применение в биомедицине, в том числе, в системах доставки лекарств и в тканевой инженерии, в качестве матриц для получения двумерных и трехмерных клеточных структур. Высвобождение лекарств и открепление клеточных структур происходит за счет растворения или изменения объемных параметров термочувствительной матрицы в ходе фазового перехода клубок-глобула. Для того чтобы предсказывать эти процессы и управлять ими, необходима информация о микроструктуре и микродинамике неоднородностей в водных растворах полимеров, в том числе в биологических жидкостях, например, в физиологическом растворе, в сыворотке крови. Одним из подходов, позволяющим изучать микроструктуру неоднородностей, является спектроскопия электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) в рамках методик спинового зонда и спиновой метки. В случае методики спинового зонда происходит захват парамагнитной частицы (зонда), в качестве которых обычно выступают стабильные нитроксильные радикалы, коллапсирующей полимерной глобулой. Это приводит к изменению формы линий спектра ЭПР зонда. Анализ этих изменений позволяет определять микрополярность, жёсткость образующихся неоднородностей и оценивать их динамику с изменением температуры. В свою очередь, методика спиновой метки позволяет оценивать непосредственно динамику полимерной цепи за счет парамагнитного фрагмента (метки), ковалентно связанной с мономерным звеном.

В рамках данного доклада на примере поли-N-изопропилакриламида (PNIPAM) и его статических сополимеров с более гидрофобным N-третбутилакриламидом и графт-сополимеров с олиголактидом, будут показаны возможности спектроскопии ЭПР для установления влияния состава полимера на структуру и динамику неоднородностей в водных растворах полимеров. На примере систем PNIPAM-альбумин с использованием методик спиновой метки и спинового зонда будет показано влияние белка на подвижность полимерных цепей и структуры полимерно-белковых неоднородностей в температурном интервале перехода клубок-глобула.

Благодарности

Исследованные полимеры были синтезированы в лаборатории катализа полимеризационных процессов НИИ физико-химических проблем БГУ (Минск, Беларусь). Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-73-00062).

КИНЕТИЧЕСКИЕ ПРОФИЛИ ВЫСВОБОЖДЕНИЯ рН-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЗОНДА DPI ИЗ ПЛЕНОК ПОЛИ-D,L-ЛАКТИДА, СФОРМИРОВАННЫХ ПРИ ПОМОЩИ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ФЛЮИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Иванова Т.А.¹, Голубева Е.Н.^{1,2}, Игнатъева Н.Ю.¹, Мельников М.Я.¹

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет, г. Москва

²Сеченовский университет, г. Москва

Полимерные конструкции на основе алифатических полиэфиров являются перспективными материалами для решения биомедицинских задач, в частности изготовления временных протезов, раневых покрытий, систем контролируемой доставки лекарств. Предотвращение воспалительных процессов и стимуляция роста тканей осуществляются благодаря введению в материал биологически активных соединений (БАС). Перспективным способом создания подобных полимерных матриц является вспенивание и импрегнация полимеров в среде сверхкритического CO₂ (скCO₂). В этом случае за счет изменения параметров процесса можно варьировать характеристики получаемых конструкций. Важными характеристиками полимерных форм являются кинетические профили высвобождения БАС и закономерности деградации полимера. Образующиеся в результате автокаталитической деградации полилактида олигомеры молочной кислоты влияют на кинетику высвобождения БАС из матрицы, деградацию полимера и могут приводить к частичной потере биологической активности введенного вещества. В связи с этим появляется необходимость мониторинга и контроля рН внутри заполненных жидкостью пор полимерной формы. В настоящей работе в среде скCO₂ были получены пористые матриксы из поли-D,L-лактида (PDLLA), импрегнированные рН-чувствительным парамагнитным зондом 5,5-диметил-4-(диметиламино)-2-этил-2-пиридин-4-ил-2,5-дигидро-1H-имидазол-1-оксидом (DPI). Из порошка, полученного в результате их измельчения, были спрессованы пленки толщиной 110, 130, 160 мкм. При помощи дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) было установлено, что температура стеклования (T_g) порошка PDLLA до СКФ обработки и T_g сухой пленки различаются и составляют 41°C и 38.5°C соответственно. Использование DPI в качестве допанта позволило при помощи спектроскопии электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) установить кинетические закономерности высвобождения зонда из пленок PDLLA в фосфатный буферный раствор (PBS), рН=7.4 (*in vitro*). Высвобождение DPI начинается после образования внутри объема полимера пор, образованных в результате набухания и гидролиза PDLLA. Обнаружено, что в жидкости, заполняющей поры, рН<2 на протяжении всего процесса. После периода индукции, сокращающегося с уменьшением толщины пленки, высвобождение зонда вплоть до глубин 80% протекает с постоянной скоростью. Наблюдаемая зависимость может объясняться тем, что дважды протонированные формы DPI могут взаимодействовать с двумя противоионами, образованными олигомерами молочной кислоты. Механизм диффузии такой объемной ионной пары может существенно отличаться от механизма процессов с участием малого нитроксильного зонда TEMPO [1].

[1] Chumakova N.A., Golubeva E.N., Kuzin S.V. et al. *Polymers (Basel)*. **12**, 1 (2020).

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ИМПЛАНТАТЫ ИЗ ФТОРПОЛИМЕРА ИЗГОТОВЛЕННЫЕ МЕТОДОМ 3D ПЕЧАТИ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ДЕФЕКТОВ ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ОБЛАСТИ

Воробьев А.О.¹, Кульбакин Д.Е.², Больбасов Е.Н.¹

¹*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск*

²*НИИ онкологии Томского национального исследовательского медицинского
центра РАН, г. Томск
aov4@tpu.ru*

Современная стратегия хирургического лечения пациентов с злокачественными новообразованиями предполагает выполнение обширных и комбинированных резекций костных структур с одномоментным возмещением их как за счет собственных тканей, так и с помощью персонифицированных имплантатов [1].

В настоящей работе, по результатам компьютерной томографии, были изготовлены индивидуальные имплантаты из сополимера винилиденфторида с тетрафторэтиленом (ВДФ-ТеФЭ), по технологии послойного наплавления (Fused Deposition Modeling; FDM) методом 3D печати. Этапы реконструкции дефекта скуло-орбитального комплекса представлены на рисунке 1.

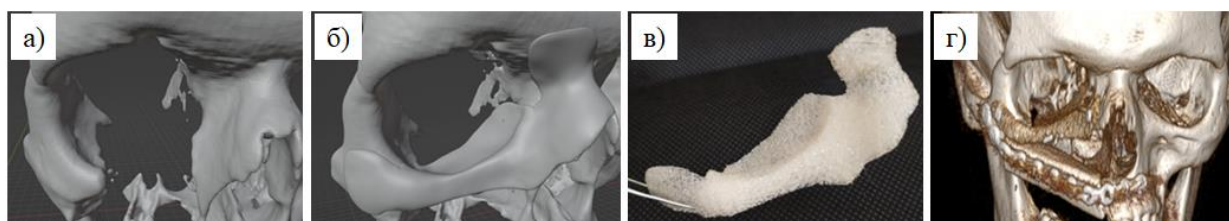


Рис. 1 - Изображение реконструкции дефекта скуло-орбитального комплекса: а) костный дефект; б) моделирование имплантата; в) индивидуальный имплантат, изготовленный методом 3D печати; г) КТ изображение пациента после реконструкции дефекта скуло-орбитального комплекса.

Анализ гистологии индивидуальных имплантатов показал образование организованной зрелой плотной соединительной ткани с преобладанием популяции клеток фибробластического ряда, при этом клеток воспалительной инфильтрации наблюдалось значительно меньше на единицу площади ткани.

Клинические исследования индивидуальных имплантатов демонстрируют высокую эффективность в реконструкции дефектов скуло-орбитального комплекса, высокую биосовместимость, инертность, также они не вызывают реакцию отторжения и выраженного воспаления окружающих тканей.

Список литературы:

[1] Кульбакин Д.Е. и др. Голова и шея **6**, 64–69 (2018).

Благодарности

Исследование выполнено в рамках реализации проекта Приоритет-2030-НИИ/ИЗ 127-375-2023.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР (БИО)ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ КАРБОКСИМЕТИЛКРАХМАЛА МАНИОКИ И ХИТОЗАНА

Кастро Д., Подшивалов А.В.

*Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург
dcastrovargas@itmo.ru*

Биополимерные системы на основе (био)полиэлектrolитных комплексов ((био)ПЭК) и процессы их формирования в последнее время представляют большой научный интерес ввиду возможности применения данных систем в областях целевой доставки лекарств, биodeградируемой и съедобной упаковке [1] и пр. Одной из таких систем, имеющих потенциал применения в создании упаковки с управляемой растворимостью, является самосборный гель на основе сложных коацерватов (био)ПЭК карбоксиметилкрахмала (КМК) и хитозана [2]. В данной работе были получены образцы КМК из крахмала маниоки с разной степенью замещения, а также растворы (био)ПЭК КМК/хитозан с общей концентрацией 1 масс.% при различных соотношениях. Формирование и характеристики структур (био)ПЭК были установлены с использованием методов ИК-Фурье спектроскопии с приставкой нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО), динамического рассеяния света (ДРС) и турбидиметрии.

Для приготовления КМК крахмал маниоки карбоксиметилировали с гидроксидом натрия и монохлоруксусной кислотой в растворе изопропилового спирта при различной доле кислоты. Полученный продукт нейтрализовывали до нейтрального рН и подвергали диализу. Для приготовления дисперсий (био)ПЭК водные растворы КМК и хитозана были приготовлены отдельно при рН равном 7 и 5, соответственно. Растворы (био)ПЭК готовились путем смешивания двух растворов с заданным объемным соотношением и рН = 5.

Результаты ИК-Фурье спектроскопии НПВО образцов КМК показали появление полос 1596 и 1490 см⁻¹, соответствующих карбоксильной группе, а для образцов (био)ПЭК снижение интенсивности этих полос, что свидетельствует о водородном взаимодействии полимеров. Методом ДРС было показано, что средний размер образовавшихся структур (био)ПЭК уменьшается при повышении доли КМК в системе по сравнению с дисперсией агрегированных молекул хитозана со средним диаметром 225 нм. Во многом данный эффект достигается за счёт малого размера макромолекул КМК и отсутствия их коагуляции показывая средний диаметр его структур около 35 нм. Данные турбидиметрии дисперсий (био)ПЭК показали, что мутность системы повышается до 7 раз по сравнению с дисперсией хитозана при повышении доли КМК в них, что также подтверждает результаты ДРС об образовании большого числа рассеивающих частиц малого размера.

Список литературы:

- [1] Gouranga N., Saquid H., Kumar N. Tailor-Made Polysaccharides in Drug Delivery. London, Academic Press, 2023.
- [2] Basu S, Plucinski A., Catchmark J. Green Chem. **13**, 4980 (2017).

ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ ТКАНЕИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКТОВ ЧАСТИЦАМИ ЖЕЛЕЗА И СЕРЕБРА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ

Фетисова В.Э., Тетерина А.Ю., Комлев В.С.

*ФГБУН Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова
Российской академии наук, г. Москва
victoria.phetisova@yandex.ru*

Кожа является крупнейшим органом человеческого тела и выполняет множество функций, включая защиту от внешней среды, выработку витаминов и терморегуляцию. Процесс ранозаживления на коже состоит из различных биологических процессов, включающих ремоделирование внеклеточного матрикса (ВКМ). Однако если этот механизм нарушается, то заживление приводит к образованию нефункциональной ткани, называемой рубцом. Заживление рубцовой тканью вместо регенерации создает значительную нагрузку на организм, поскольку рубцовые ткани обладают более низкими механическими свойствами, дезорганизованным ВКМ и отсутствием элементов, присущих кожным покровам. Наиболее перспективным способом избежать образования рубцовой ткани является использование различных тканевых эквивалентов. Идеальный скаффолд должен выступать в качестве ВКМ для обеспечения адгезии клеток, минимизировать бактериальную нагрузку и поддерживать нужные условия для ранозаживления. Перспективным полимером для создания такого материала является альгинат натрия – биополимер растительного происхождения, успешно использовавшийся для изготовления тканевых эквивалентов и для доставки биологически активных соединений в место повреждения. [1]

Для получения более выраженного антибактериального эффекта было предложено вводить наночастицы металлов в матриксы на основе альгината натрия. Известно, что наночастицы серебра обладают антимикробным эффектом и ускоряют ранозаживление. Также перспективным вариантом металлических наночастиц является цинк, поскольку он присутствует в организме и участвует в биохимических процессах, и при этом ускоряет заживление ран. [2]

В данной работе были исследованы материалы с введением наночастиц в разных концентрациях в матриксы на основе альгината натрия. Для полученных пористых структур были проведены исследования физико-химических и биологических характеристик, а также изучена зависимость микроструктуры материалов от введения наночастиц.

Список литературы:

[1] *Raus R.A., Nawawi W.M., Nasaruddin R.R.* Asian Journal of Pharmaceutical Sciences **16** (3), 280 (2021).

[2] *Godoy-Gallardo M., Eckhard U., Delgado L.M., de Roo Puente Y.J., Hoyos-Nogués M., Gil F.J., Perez R.A.* Bioactive Materials **6** (12), 4470 (2021).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (проект №МК-4573.2022.1.3).

КРЕЙЗИНГ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ СМЕСЕЙ ИЗ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИМЕРОВ

Малык Б.В.^{1,2}, Хавпачев М.А.².

¹Московский физико-технический институт, г. Москва

²Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН
bogdanamalyk@yandex.ru

В данной работе для совмещения термодинамически несовместимых полилактида (ПЛ) и поливинилового спирта (ПВС) был предложен метод крейзинга. Крейзинг представляет собой самодиспергирование полимера при совместном действии механического напряжения и адсорбционно-активной жидкой среды. Этот процесс сопровождается развитием в полимерном материале наноразмерной фибриллярно-пористой структуры [1]. ПВС представляет собой гидрофильный водорастворимый полимер. ПЛ – полимер гидрофобный. Совмещение столь разнополярных полимеров не представляется возможным с образованием высокодисперсной смеси каким-либо существующим способом. Высокая интенсивность внутри- и межмолекулярных водородных связей и высокая кристалличность ПВС делают его температуру плавления (220 °С) настолько близкой к температуре химического разложения, что смешение через расплав становится невозможным. Смешение через раствор также невыполнимо, так как эти полимеры не имеют общих растворителей. Принципиальным отличием крейзинга от традиционно существующих способов смешения компонентов является тот факт, что для включения добавок в структуру полимера термодинамическая совместимость компонентов не обязательна.

Исходные изотропно-аморфные волокна ПЛ диаметром 780-800 мкм были изготовлены из промышленных гранул полимера марки 4032D “Nature Works” (M_w 137 кДа, дисперсность 1.97) методом экструзии. Использовали порошкообразный ПВС марки “JF-05” (M_n 50 кДа, степень гидролиза 98%). Процедуру введения ПВС в волокна ПЛ проводили в два этапа. На первом этапе волокна с крейзами (при $\epsilon=50-100\%$) выдерживали в течение 3 ч в 2%-ном водно-этанольном растворе ПВС, после чего дотягивали образцы в этом же растворе до степени деформации 600-700%. В работе получены волокна с содержанием полимерной добавки 7-10 мас.%. Методом сканирующей электронной микроскопии в матрице ПЛ были обнаружены частицы ПВС с размерами в диапазоне от 0.17 до 2.11 мкм. Важно отметить, что введение всего лишь 3 мас. % ПВС в пленки на основе ПЛ приводит к изменению контактного угла смачивания с 86° (для чистого ПЛ) до 61° (для смеси ПЛ-ПВС). Этот факт указывает на гидрофилизацию полиэфирной матрицы.

Список литературы:

[1] *Волынский А.Л., Бакеев Н.Ф.* Роль поверхностных явлений в структурно-механическом поведении твердых полимеров. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2014.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, тема FFSM-2022-0003.

СИСТЕМЫ КОМБИНИРОВАННОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ АМФИФИЛЬНЫХ ПОЛИАМИНОКИСЛОТ

Джужа А.Ю.^{1,2}, Коржикова-Влах Е.Г.^{1,2}

¹*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,
Санкт-Петербург*

²*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
Санкт-Петербург
polinadzhuzha@mail.ru*

Одним из важных направлений разработок современных систем для доставки лекарств являются системы комбинированной доставки двух и более веществ. Синергетическое действие двух химиотерапевтических агентов, возможность подавления их побочных эффектов или сочетание различных подходов к лечению в случае совместной доставки агентов генной и химиотерапии позволяет достичь более высокой эффективности лечения раковых заболеваний в сравнении с классическими монофункциональными системами [1].

Среди прочих полимеров для конструирования комбинированных систем доставки интерес представляют амфифильные полиаминокислоты, структура которых схожа с природными белками, а сочетание гидрофобных и положительно заряженных аминокислотных звеньев в цепи позволяет связывать нуклеиновые кислоты и инкапсулировать гидрофобные лекарственные вещества при самоорганизации полимера в водной среде, а, например, введение в структуру полимера сахаридных фрагментов способствует снижению поглощения полимера макрофагами и стабилизации полимерных частиц за счет образования гидрофильной оболочки [2].

В настоящей работе с целью создания систем комбинированной доставки были получены серии амфифильных сополимеров на основе поли(α ,L-глутаминовой кислоты) для доставки двух гидрофобных противоопухолевых субстанций и поли(α ,L-лизина) для доставки гидрофобного цитостатика и миРНК. Составы сополимеров были определены с помощью аминокислотного ВЭЖХ анализа и ЯМР-спектроскопии. Формирующиеся наноразмерные частицы были охарактеризованы методами статического и динамического рассеяния света и просвечивающей электронной микроскопии, изучена их стабильность, способность к инкапсулированию и высвобождению лекарственных веществ; проведены биологические эксперименты с целью определения уровня цитотоксичности синтезированных сополимеров и эффективности действия инкапсулированных форм лекарственных веществ.

Список литературы:

[1] J. Gong et al. *Biomedicine & Pharmacotherapy* **161**, 114505 (2023).

[2] Dzhozha A.Y. et al. *Int. J. Mol. Sci.* **24**, 1049 (2023).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-73-20104) и с использованием оборудования Научного парка СПбГУ (РЦ Методы анализа состава вещества, Развитие молекулярных и клеточных технологий и Магнитно-резонансные методы исследования).

ВЛИЯНИЕ ХИТОЗАНА НА СТРОЕНИЕ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ L-ЦИСТЕИНА И НИТРАТА СЕРЕБРА

Зеников Г.Р., Хижняк С.Д., Иванова А.И., Пахомов П.М.

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь, Россия
zenikov.german@mail.ru

Изучение супрамолекулярных систем представляет огромный научный и практический интерес. Водные растворы серосодержащей аминокислоты L-цистеин (L-cys) и нитрата серебра (AgNO_3) при определённой концентрации веществ образуют устойчивые композиции с пространственной структурой – цистеин-серебряный раствор (ЦСР), а при добавлении в них солей, содержащих сульфат-анион (SO_4^{2-}), происходит образование устойчивых во времени супрамолекулярных гидрогелей. Такие композиции образуются за счёт процессов самосборки.

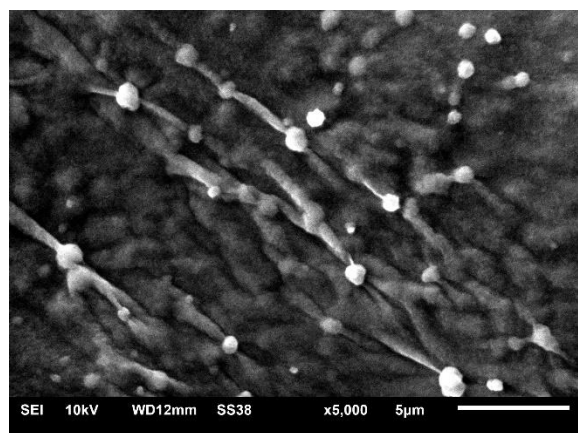


Рис. 1 - СЭМ фотография образца ЦСР-X3- Na_2SO_4

В данной работе исследовано влияние хитозана – полисахарида с аминогруппой – на структуру гидрогелей на основе ЦСР. С помощью методов ПЭМ, СЭМ, УФ-спектроскопии, вибрационной вискозиметрии, ДСР, измерения ζ -потенциала установлено, что хитозан способствует частичной фрагментации кластерных цепочек ЦСР, в результате

которой за счёт межмолекулярных взаимодействий электростатической природы происходит ассоциация молекул хитозана и цепочек ЦСР [1].

Отметим не только научный интерес к процессам самосборки, происходящих в системах ЦСР-X3, но и возможность дальнейшего практического применения данных гидрогелей. L-cys является протеиногенной аминокислотой, способствующей заживлению ран, соли серебра известны своими бактерицидными свойствами, а хитозан является биосовместимым и мукоадгезивным полисахаридом. Ранее в работе [2] установлена антимикробная активность данных композиций, что можно применять для создания новых лекарственных форм.

Список литературы:

- [1] Зеников Г.Р., Хижняк С.Д., Пахомов П.М. Вестник Тверского госуниверситета №4 (46), с.131 (2021).
[2] Овчинников М.М., Червинец В.М., Червинец Ю.В., Михайлова Е.С., Хижняк С.Д., Пахомов П.М. Вестник Тверского госуниверситета, №1, с.140 (2016).

Благодарности

Работа выполнена на оборудовании лаборатории спектроскопии и электронной микроскопии ЦКП ТвГУ.

**ПОЛИМЕТИЛСИЛСЕСКВИОКСАНОВЫЕ ГИДРОГЕЛИ -
ПЕРСПЕКТИВНЫЙ НОСИТЕЛЬ ДЛЯ ПЕРОРАЛЬНЫХ
ПРЕПАРАТОВ ЖЕЛЕЗА**

Орлова П.Д.¹, Ле-Дейген И.М.², Мешков И.Б.³, Латипов Е.В.⁴, Калинина А.А.³,
Кудряшова Е.В.²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
факультет фундаментальной физико-химической инженерии, г. Москва

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
химический факультет, г. Москва

³Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,
г. Москва

⁴Институт нанотехнологий микроэлектроники РАН, г. Москва
p.orlova2021@mail.ru

Лечение железодефицитной анемии пероральными препаратами затруднено серьезными побочными эффектами, в первую очередь связанными с ЖКТ. В связи с этим актуальной задачей является создание новых систем пероральной доставки соединений железа с улучшенными биофармацевтическими свойствами. Одним из перспективных вариантов нам представляется включение соединений железа в торы циклодекстринов, а затем включение таких комплексов в гидрогели. Подобная комбинация потенциально обеспечивает высвобождение содержимого в кишечнике и должна обладать высокой биосовместимостью и ёмкостью по соединениям железа, о чем свидетельствуют ранее опубликованные материалы.

В данной работе в качестве железосодержащего препарата были рассмотрены хлорид железа (III) ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) и D-глюконат железа (II).

Предложенная система доставки включает в себя 2-гидроксипропил- β -циклодекстрин (ГП- β -ЦД) и полиметилсилсесквиоксановые гидрогели (ПМССО) различного состава, переменные по содержанию неорганические звенья. Чистый ПМССО-гидрогель получали методом «золь-гель» в результате взаимодействия метилтриэтоксисилана с гидроксидом натрия с последующим подкислением уксусной кислотой. Для получения гидрогелей в соотношении ПМССО/силикат натрия 1:1 и 1:2 к ПМССО-золь добавляли силикат натрия в различных соотношениях для образования силикатных звеньев. Созревание гидрогелей занимало минимум 10 часов.

В ходе работы было установлено, что все гидрогели проявляют практически 100%-ную активность по отношению к $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, а по отношению к D-глюконату железа наилучшую сорбционную активность проявляет гидрогель с соотношением ПМССО/силикат натрия 1:1. Также установлено, что включение в систему доставки ГПЦД значительно улучшает сорбционную способность гидрогелей. Особенности сорбции исследовали с помощью ИК-спектроскопии, рентгеноструктурного анализа и сканирующей электронной микроскопии.

Проведенные исследования уже на данном этапе свидетельствуют о перспективности использования подобных систем для доставки железосодержащих препаратов.

**КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ НУКЛЕИНОВЫХ
КИСЛОТ С ТРИОДИДОМ 5-[4'-(1'',3'',7''-ТРИМЕТИКСАНТ-2''-
ИЛ)ФЕНИЛ]10,15,20- ТРИС-(N-МЕТИЛПИРИДИНИЙ-3'-
ИЛ)ПОРФИРИНА**

Лебедев М.А.^{1,2}, Киселев А.Н.¹, Скоробогаткина И.А.^{1,2}

¹*Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук,
г Иваново*

²*Ивановский государственный химико-технологический университет,
г Иваново
Irina.Sk.01@mail.ru*

Целенаправленный синтез новых лигандов, способных образованию высокоаффинных комплексов с нуклеиновыми кислотами актуальная научная и практическая задача [1]. Тип образующихся с ДНК комплексов (внешний, стабилизированный кулоновскими взаимодействиями; интеркаляционный, сформированный за счет встраивания лиганда между азотистыми основаниями ДНК и участвующий в π - π -взаимодействиях с ними; комплекс с расположением лиганда во внешней бороздке, стабилизированный гидрофобными, электростатическими взаимодействиями и Н-связыванием) зависит как от природы лиганда, так и от олигонуклеотидной последовательности [2,3].

В результате проведенного исследования был синтезирован водорастворимый порфирин, содержащий остаток молекулы кофеина и изучены особенности его взаимодействия с синтетическими нуклеиновыми кислотами poly[d(AT)₂] и poly[d(GC)₂]. Спектральными методами доказано, что порфирин с poly[d(GC)₂] образует интеркалят, а с poly[d(AT)₂] – комплекс с внешней бороздкой. Обнаружено, что комплексообразование нуклеиновых кислот с синтезированным порфирином вызывает изменения размеров частиц. В случае poly[d(GC)₂] гидродинамический диаметр изменился от 657 нм до 1107 нм при связывании с порфирином. В случае poly[d(AT)₂] гидродинамический диаметр изменился от 549 нм до 426 нм при связывании с порфирином. Полученные данные по размерам частиц нуклеиновых кислот и их комплексов с порфирином согласуются с вышеуказанными комплексами.

Список литературы:

- [1]. *Lebedeva N. S., Koifman O. I. Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 48, 26 (2022)*
 [2] *Lebedeva, N. S., Yurina, E. S., Gubarev, Y. A., & Syrbu, S. A. 199, 235 (2018).*
 [3] *Bhaduri S., Ranjan N., Arya D. P. 14, 1051 (2018).*

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 23-13-00235. Анализ размера частиц выполнен с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований».

РАЗРАБОТКА ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНОГО И СШИТОГО АЛЬГИНАТА НАТРИЯ. ОЦЕНКА ИХ ГЕМОСТАТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Баранникова Л.В.^{1,2,3}, Белозерская Г.Г.³, Лесничая В.А.², Курмаз С.В.²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

²ФИЦ ПХФ и МХ РАН, г. Черноголовка

³ФГБУ «НМИЦ Гематологии», г. Москва

barlada2000@gmail.com

Биосовместимые и биоразлагаемые полимеры природного происхождения, такие как альгинаты, представляют значительный интерес при разработке материалов с гемостатической активностью. Цель настоящей работы – разработка мягких пористых материалов на основе линейного и сшитого альгината натрия, получение на их основе композитов с оксидом железа; исследование их структуры/свойств комплексом физико-химических методов и оценка гемостатической активности [1]. Мягкие пористые материалы на основе линейного альгината натрия и его композита с частицами оксида железа были получены методом лиофильной сушки из разбавленных растворов. Молекулярная структура полученных материалов исследована методом ИК-спектроскопии, а надмолекулярная – методом оптической микроскопии. Показано, что исследованные материалы на основе линейного альгината натрия имеют макропористую структуру. В полимерной матрице композитов агрегаты частиц оксида железа расположены равномерно и имеют микронный размер. Исследованы физико-механические свойства пористых губок на основе линейного альгината натрия; их результаты свидетельствовали о неоднородности структуры полученных материалов, а также их низких физико-механических свойствах. Как гидрогели, они поглощали значительное количество воды, многократно увеличивались в объёме и полностью растворялись. Для улучшения физико-механических и сорбционных свойств альгинатов в их водные растворы добавляли хлористый кальций как сшивающий агент и получали в зависимости от концентрации сшивающего агента пленки или микрочастицы сшитого альгината. Из растворов гелей, образованных при использовании малых концентраций сшивающего агента, методом лиофильной сушки были получены макропористые сшитые структуры альгината. Исследовали молекулярную и надмолекулярную структуру альгинатов с различной степенью сшивания, а также их физико-механические и структурные свойства. Показано, что макропористые материалы на основе альгината натрия и композит с частицами оксида железа обладают высокой гемостатической активностью. Сделан вывод о перспективности полученных макропористых губок в качестве материалов с гемостатической активностью в различных биомедицинских приложениях.

Список литературы: [1] Белозерская Г.Г. Бюллетень медицинской науки. **24, 4.** 82 (2021).

Благодарности Работа выполнена по теме Госзадания, регистрационный номер АААА-А19-119032690060-9.

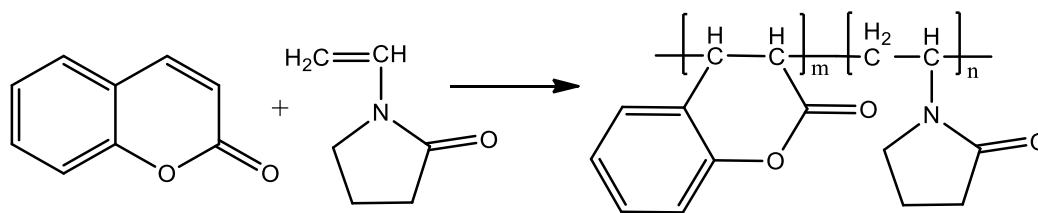
СОПОЛИМЕРЫ N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНА С КУМАРИНОМ

Сажина Ю.А.¹, Захарова Н.В.², Нестерова Н.А.²¹ Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)² Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук
yuliyas_sazhina@mail.ru

Поиск новых реакционноспособных полимеров является перспективным направлением современной химии высокомолекулярных соединений. Представляют интерес с практической и научной точки зрения сополимеры N-виниламидов с сомономерами, содержащими различные функциональные группы, например кумарином, содержащим реакционноспособное лактонное кольцо.

Вводя молекулу кумарина в полимерную цепь, мы вводим в нее лактон, фенол и карбоновую кислоту (последние образуются в результате гидролиза лактонного цикла). Каждая из этих групп может взаимодействовать с различными реагентами, образуя многочисленные производные, которые могут найти широкое применение в различных отраслях науки и производства - фармации, медицине, ветеринарии, растениеводстве.

Радикальной полимеризацией был получен ряд сополимеров (N-винилпирролидона – Кумарин) с варьируемым составом (от 10 до 50 мол. % кумарина). Синтез проводили в присутствии инициатора - динитрила азобисизомаляной кислоты. Строение полученных сополимеров подтверждали ИК-спектроскопией по наличию полосы 1763 см⁻¹, соответствующей карбонилу лактонного кольца кумарина. Состав был определен функциональным и элементным анализом.



Методом статического и динамического светорассеяния были определены средневесовые молекулярные массы M_w (M_w – от 25 до 260 кДа) и гидродинамические радиусы R_h (R_h – от 4.2 до 11 нм) сополимеров в растворе DMSO.

РАСТВОРЯЮЩИЕСЯ МИКРОИГЛЫ НА ОСНОВЕ ПУЛЛУЛАНА ДЛЯ ТРАНСДЕРМАЛЬНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

Золотарева М.С., Ковалева А.Н.

*МИРЭА – Российский технологический университет, Институт тонких
химических технологий имени М.В. Ломоносова, г. Москва
mariya.zolotareva2014@yandex.ru*

В настоящее время появляется всё больше разработок трансдермальных лекарственных форм, так как они удобны в применении, безболезненны при использовании, не проходят через желудочно-кишечный тракт (что позволяет использовать более низкие дозировки), а также позволяют легко регулировать продолжительность использования и незамедлительно его прекращать в случае возникновения побочных эффектов [1]. Для увеличения эффективности трансдермальной доставки и устранения ограничений рогового слоя кожи, который препятствует проникновению молекул массой более 500 Да, могут использоваться микроиглы, которые представляют собой конусы или пирамиды высотой от 150 до 1500 мкм, закрепленные на подложке. Благодаря таким размерам микроиглы при введении в кожу человека не затрагивают ее глубокие слои, в которых находятся нервные окончания, что обеспечивает максимальную безболезненность при использовании препарата. На данный момент микроиглы изготавливают из различных материалов: металлы, кремний, керамика и биосовместимые полимеры. При этом среди биосовместимых полимеров наиболее активно в последние десятилетия используют биоразлагаемые или быстрорастворимые материалы, так как они растворяются в коже человека в процессе использования и не оставляют биологически опасных острых отходов. В данной работе исследовали микроиглы, изготовленные из водорастворимого полимера пуллулана, который представляет собой природный полисахарид, мономером которого является мальтотриоза. Выбор данного вещества основан на его способности образовывать тонкую, гибкую, прозрачную и прочную пленку, которая в настоящее время используется в качестве покрытия для пищевых продуктов, а также в фармацевтической промышленности для изготовления пероральных пленок [2]. В ходе работы было проведено изучение физико-механических свойств растворяющихся полимерных микроигл, полученных методом отлива в негативную форму из водных растворов пуллулана различной концентрации (от 10 до 25%). По результатам исследования определили, что максимальную прочность на сжатие металлическим блоком и при моделировании введения в кожу человека имеют микроиглы, изготовленные из 25% водного раствора пуллулана. Они характеризуются низкой относительной деформацией сжатия при максимальных нагрузках, а также способностью выдерживать высокое напряжение без разрушения при проникновении в кожу человека.

Список литературы:

- [1] *Ma J., Wang Y., Lu R. Pharmaceuticals. Т. 15. (4), 459 (2022).*
[2] *Coltelli M. B. et al. Journal of Functional Biomaterials. Т. 11. (1), 20 (2020).*

СИНТЕЗ АМФИФИЛЬНОГО ТРИБЛОК-СОПОЛИМЕРА С КАТИОННЫМ ФРАГМЕНТОМ ДЛЯ ДОСТАВКИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ И ГИДРОФОБНЫХ ЛЕКАРСТВ

Багаева И.О.¹, Сеницына Е.С.^{1,2}, Тенникова Т.Б.¹, Коржикова-Влах Е.Г.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

²Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург
Bagaeva_irina2000@rambler.ru

В настоящее время активно развивается подход, основанный на сочетании генно-терапевтических конструкций и химиопрепаратов для повышения эффективности лечения онкологических заболеваний. Одним из перспективных типов генно-терапевтических лекарств являются малые интерферирующие РНК (миРНК), способные после попадания в клетку-мишень взаимодействовать с матричной РНК целевого гена и выключать биосинтез определённого белка. Различные физико-химические свойства цитостатиков и миРНК обуславливают сложность их одновременной доставки для обеспечения эффективной противоопухолевой терапии. В связи с этим направленная разработка биосовместимых носителей, включающих гидрофобный и катионный фрагменты, является актуальной задачей. Ранее нами были получены и охарактеризованы системы доставки гидрофобного противоопухолевого агента – диоксадэта [1]. Разработанные системы представляли собой наночастицы на основе блок-сополимера поли(этиленгликоля) (ПЭГ) с поли(ε-капролактоном) (ПКЛ), содержащие инкапсулированный диоксадэт. Эксперименты *in vitro* показали высокую ингибирующую активность полученных наноформуляций в отношении клеток рака яичников.

С целью соинкапсулирования миРНК и цитостатика в настоящем исследовании в структуру зарекомендовавшего себя блок-сополимера ПЭГ-б-ПКЛ дополнительно был включен блок катионного полипептида – поли(L-лизина). Синтез ПЭГ-б-ПКЛ проводили путем полимеризации с раскрытием цикла ε-капролактона с использованием ПЭГ в качестве макроинициатора. Для осуществления введения в полимерную цепь блока поли(L-лизина) проведена многостадийная модификация терминальной гидроксильной группы ПКЛ до азида с последующей клик-реакцией с целью введения линкера, содержащего первичную аминогруппу. Полученный модифицированный сополимер ПЭГ-б-ПКЛ-NH₂ использовали в качестве макроинициатора для полимеризации с раскрытием цикла Nα-карбоксииангирида ε-защищенного L-лизина. Молекулярную массу и дисперсность синтезированных сополимеров оценивали методом гель-проникающей хроматографии. Структуру и степень модификации блок-полимеров подтверждали методами ЯМР- и ИК-спектроскопии.

Список литературы:

[1] Sinitsyna E, Bagaeva I, Gandalipov E, Fedotova E, Korzhikov-Vlakh V, Tennikova T, Korzhikova-Vlakh E. *Pharmaceutics*; **14**(11), 2506 (2022).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №21-73-20104).

ВЫБОР КИНЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛИЗА ДЛЯ ПРОЦЕССА ВЫСВОБОЖДЕНИЯ СУЛЬФАНИЛАМИДА ИЗ АКРИЛОВЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДЕТОНАЦИОННЫМИ НАНОАЛМАЗАМИ

Гудкин А.В.¹, Григорьев Д.В.², Сивцов Е.В.¹, Успенская М.В.²

¹Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет), г. Санкт-Петербург

²Национальный исследовательский университет ИТМО, г. Санкт-Петербург
gudkinartur@gmail.com

В последние десятилетия полимерные композиционные материалы (ПКМ) широко применяются во многих областях промышленности. Особый интерес представляют ПКМ медицинского назначения. Один из видов таких систем – это гидрогели.

Материалы на основе гидрогелей, наполненные лекарственным веществом (ЛВ), являются отличным способом доставки ЛВ в раны. Перевязочные материалы на основе гидрогелей обладают рядом преимуществ по сравнению с классическими перевязочными средствами: смена повязки без выраженного болевого синдрома, обезболивающий эффект благодаря прохладной поверхности и отсутствие флуктуаций концентрации ЛВ.

Примером гидрогелей, которые используются в медицине, могут быть акриловые гидрогели. Данные материалы нетоксичны, недороги, обладают значительной сорбционной емкостью и чувствительностью к внешним условиям. Минусы данных гидрогелей – это низкие физико-механические свойства и отсутствие собственной биологической активности.

Такой дисперсный наполнитель как детонационные наноалмазы (ДНА) позволяет улучшить физико-механические характеристики гелей, обладают антимикробной и антимикотической активностью. Таким образом их использование позволяет устранить оба недостатка акриловых гидрогелей.

В работе были синтезированы ПКМ на основе акриловых гидрогелей и ДНА. Для придания ПКМ терапевтической активности был выбран сульфаниламид (СФА). Данное ЛВ обладает бактериостатическим эффектом. СФА применяют в составе комплексной терапии при воспалительных процессах на коже и инфицированных ожогах.

Была исследована кинетика высвобождения СФА из ПКМ на основе акриловых гидрогелей и ДНА. Для описания этого процесса в работе были рассмотрены следующие модели десорбции: модель Хигучи, модель Бейкера-Лонсдейла, модель Корсмаера-Пеппаса, модель Хопфенберга.

С использованием УФ-спектроскопии была получена зависимость концентрации выделяемого ЛВ от времени. На основании экспериментальных данных ($R^2 = 0,86$) и с учетом допущений была выбрана модель Корсмаера-Пеппаса, которая наилучшим образом описывает процесс десорбции. Кроме того, изучена кинетика набухания гидрогеля. Получена зависимость степени набухания от времени и определены механизмы диффузии, найден коэффициент диффузии.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СФЕРИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ ГЛОБУЛЯРНЫХ БЕЛКОВ

Миляева О.Ю., Рафикова А.Р., Ротанова К.Ю., Носков Б.А.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Химии,
г. Санкт-Петербург
o.milyaeva@spbu.ru*

В последнее время свойства пен и эмульсий, стабилизированных белковыми нано- и микрочастицами, привлекают все больше внимания исследователей в связи с широкими возможностями их применения в косметической, пищевой и фармацевтической промышленности [1,2]. При нагревании ($\sim 90^\circ\text{C}$) и при рН вблизи изоэлектрической точки ряд глобулярных белков способен образовывать агрегаты сферической формы с диаметром в диапазоне 500-700 нм. Сравнение динамических поверхностных свойств агрегатов, полученных из β -лактоглобулина (БЛГ) [2], лизоцима [3] и бычьего сывороточного альбумина (БСА) позволило выявить ряд особенностей, связанных с природой белка. Склонность сферических агрегатов исследованных белков образовывать трехмерные кластеры на поверхности жидкости уменьшается в ряду БСА > лизоцим > БЛГ. Хотя рост поверхностной упругости до значений, более чем в два раза превышающих результаты для нативных белков, наблюдался для всех трех исследованных систем в случае агрегатов БСА заметный рост упругости возникал только при высоком поверхностном давлении (≥ 40 мН/м), что указывает на влияние трехмерных кластеров в поверхностном слое. Различия во взаимодействии между агрегатами в поверхностном слое приводили к разным механизмам коллапса нанесенных пленок. Так, агрегаты БЛГ при сильном сжатии поверхности образуют полислоенные складчатые структуры, что проявляется в сильных флуктуациях поверхностного давления. Для нанесенных пленок сферулитов лизоцима и БСА образование полислоенных структур, по-видимому, происходит сразу же при нанесении пленки, что при сильном сжатии приводит к монотонному росту поверхностного давления.

Список литературы:

- [1] Lam S., Velikov K.P., Velev O.D. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* **19** (5) 490 (2014).
[2] Noskov B.A., Rafikova A.R., Milyaeva O.Yu. *Journal of Molecular Liquids* **351**, 118658 (2022).
[3] Milyaeva O.Yu., Akentiev A.V., Bykov A.G., Lin S.-Y., Loglio G., Miller R., Michailov A.V., Rotanova K.Yu., Noskov B.A. *Polymers* **14**, 3979 (2022).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-13-00039).

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНАЯ КОМПОЗИЦИЯ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ ОКСИКОРИЧНОЙ КИСЛОТЫ

Подoliaко Е.Т.¹, Нестерова Н.А.², Панарин Е.Ф.²

¹*Санкт-Петербургский химико-фармацевтический университет,
г. Санкт-Петербург*

²*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург
podoliako.elizaveta@gmail.com*

Поиск и синтез новых полимеров с разнообразной биологической активностью является перспективным и важным направлением химии высокомолекулярных соединений. Особый интерес представляют синтетические полиэлектролиты: поликатионы и полианионы, обладающие достаточно сильной биоцидной активностью.

Такие полимеры в качестве препаратов с пролонгированным эффектом фунгицидного, бактерицидного и противовирусного действия востребованы в различных отраслях науки и производства – в медицине и ветеринарии, в сельском хозяйстве для защиты растений от болезней и вредителей. Перспективным классом таких полимеров являются сополимеры N-виниламидов с оксикоричной кислотой, которые обладают собственной биологической активностью – противовирусным действием в отношении респираторно-синцитиального вируса человека А-2 [1]. Для расширения спектра биоцидного действия сополимеров ВП с оксикоричной кислотой в данной работе были синтезированы их комплексы с катионным ПАВ – Катамином АБ.

Радикальной полимеризацией в массе при 65 °С был получен ряд сополимеров N-винилпирролидона с Кумарином с варьлируемым составом (от 5 до 30 мол. % кумарина). Синтез проводили в присутствии инициатора - динитрила азобисизомаляной кислоты. Строение полученных сополимеров подтверждали ИК-спектроскопией по наличию полосы 1763 см⁻¹, соответствующей карбонилу лактонного кольца кумарина. Состав был определен функциональным и элементным анализом.

Водорастворимые сополимеры N-винилпирролидона с солями (Na⁺, K⁺) оксикоричной кислоты получали щелочным гидролизом сополимеров кумарина с N-винилпирролидоном растворами NaOH, KOH с последующим диализом против воды и лиофильной сушкой. Строение подтверждали ИК-спектроскопией по исчезновению полосы 1763 см⁻¹, и появлению полос соответствующих колебанию C-O карбоксилатной группы. Далее исследовали процесс комплексообразования в водных растворах сополимеров винилпирролидона с оксикоричной кислотой с диметилбензилалкиламмонием хлоридом – Катамином АБ. Комплексы выделяли лиофильной сушкой. Состав определяли методом УФ-спектроскопии.

Биологическую активность модифицированного Катамина АБ определяли в отношении *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli* методом диффузии в агар. Фиксировали показатель антимикробной активности, измеряемой в миллиметрах диаметр зоны задержки роста тест-микроорганизмов вокруг образца.

Список литературы:

[1] Патент № 2796753 RU. 2023. Опубликовано 29.05.2023. Бюл. № 16.

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ГЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПОЛНЕННЫХ ДЕТОНАЦИОННЫМИ НАНОАЛМАЗАМИ

Хоманец Е.В.¹, Григорьев Д.В.², Сивцов Е.В.¹

¹*Санкт-Петербургский государственный технологический институт*

²*Национальный исследовательский университет ИТМО, г. Санкт-Петербург
ekaterinahomanec@mail.ru*

В настоящее время перспективным направлением во многих областях промышленности и медицины, является использование полимерных материалов с заданными свойствами. Гидрогели представляют собой трехмерные полимерные сетки, способные поглощать и удерживать большие объемы различных жидкостей. Сходство гидрогелей с живой тканью обуславливает использование этих систем во многих областях биомедицины. Их применяют как средства для доставки лекарств, каркасы для тканевой инженерии, изготовление ранозаживляющих повязок, в медицинской хирургии, в качестве биосенсоров.

В качестве основы для полимерных композиционных материалов могут служить известные акриловые гидрогели. Данные гели обладают рядом преимуществ: высокой сорбционной емкостью, низкой стоимостью, чувствительностью к внешним условиям. Однако их применение ограничивается низкими механическими свойствами. В то же время они не обладают собственной биологической активностью. Для устранения этих недостатков появляется необходимость использовать несколько слоев геля.

Около пятидесяти лет назад детонационным методом были получены наноалмазные частицы (ДНА). Являясь неорганическим дисперсным наполнителем, они могут использоваться для улучшения физико-механических характеристик гидрогелевых материалов. В тоже время рядом авторов отмечалась биологическая активность ДНА [1]. Немодифицированные ДНА нарушают жизненный цикл вирусов, рост микромицетов и продукцию белка микроорганизмов. Добавление наноалмазов позволит одновременно повысить физико-механические свойства и придать материалу, необходимую для его медицинского применения, биологическую активность.

В работе была синтезирована серия из 12 образцов, представляющих собой композиционные материалы на основе акриловых гидрогелей, различающихся содержанием сшивающего агента и наполнителя. Методом осцилляционной реометрии были изучены реологические свойства полученных материалов. Были получены зависимости динамических модулей от амплитуды и частоты. Также было исследовано влияние содержания наполнителя на скорость гелеобразования. Полученные зависимости четко показывают уменьшение времени гелеобразования с увеличением содержания ДНА в образце.

Список литературы:

[1] *Shugalei I. V., Voznyakovskii A. P., Garabadzhiu A. V., Tselinskii I. V., Sudarikov A. M., Ilyushin M. A. Russian Journal of General Chemistry, 2013, Vol. 83, No. 5, pp. 851–883.*

МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЛИОФИЛИЗАЦИИ

Базылева К.Ю.^{1,2}, Волков Д.А.², Шарикова Н.А.², Малахов С.Н.², Григорьев Т.Е.²

¹*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
физический факультет, г. Москва*

²*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва
bazyleva.ki18@physics.msu.ru*

Одна из ключевых задач тканевой инженерии — создание клеточного каркаса, который будет имитировать структуру и свойства наивного матроска [1]. Распространенных методов получения таких высокопористых материалов является лиофилизация. Меняя скорость охлаждения на первом этапе, можно управлять зародышеобразованием и кинетикой роста кристаллов льда, что отражается на конечной структуре пор в материале [2]. Хотя существует качественное понимание физических основ метода, многие детали происходящих в нем процессов изучены не полностью.

Для исследования кинетики заморозки полимерных растворов использовали 8% водный раствор поливинилпирролидона (ПВП, Sigma-Aldrich, США, Mw ~ 55 кДа) и 2% раствор хитозана, в 2%-ом водном растворе уксусной кислоты. В исследовании также использовались растворы хитозана с добавлением технического углерода (ТУ, Vulcan XC 72R), как модельная система, в следующих весовых концентрациях (от массы полимера): 1, 10 мас.%. Далее приготовленные растворы замораживали на разработанной установке с использованием элементов Пельтье. Затем образцы на основе ПВП лиофилизировали в сушилке Martin Christ Alpha 2-4LSC в течение 72 ч при глубине вакуума 0,250 мбар для исследования полученной морфологии материалов с применением сканирующей электронной микроскопии на приборе Phenom XL (ThermoFisher Scientific, США). В процессе замораживания образцов зависимость температуры от времени фиксировали с помощью сенсора Termodat-1,3М на разных высотах колбы с полимерным раствором.

В результате работы была разработана и изготовлена замораживающая установка на основе элементов Пельтье. С помощью нее были получены полимерные высокопористые материалы на основе ПВП и хитозана. Также исследована кинетика заморозки полимерного раствора и влияние условий охлаждения на морфологию получаемых образцов.

Список литературы:

- [1] *Stratton S., Shelke N. B., Hoshino K., Rudraiah S., Kumbar S. G. Bioactive materials. 1(2), 93-108, (2016)*
[2] *Pawelec K. M., Husmann A., Best S. M., Cameron R. E. Materials Science and Engineering. 37, 141-147, (2014)*

Благодарности

Работа выполнена при поддержке государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРЧИ КУРИНОГО МЯСА С ПОМОЩЬЮ СЕНСОРА НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК НА НАНОКРИСТАЛЛАХ ХИТИНА

Хасанов Д.Г., Назарова Е.А.

Институт SCAMT, Университет ИТМО, Санкт-Петербург
khasanov@scamt-itmo.ru

Определение и контроль срока годности скоропортящихся пищевых продуктов, таких как мясо – сложная задача, поскольку он зависит от многих факторов. Поэтому срок годности устанавливают с некоторым запасом из-за неоднородности качества сырья. Это является необходимой мерой предосторожности и означает, что большинство упаковок с мясом курицы можно употреблять даже после истечения номинального срока годности. Однако они не могут быть проданы розничным продавцом и поэтому выбрасываются [1]. Как следствие, в настоящее время существует значительный интерес к разработке относительно простого и быстрого аналитического метода обнаружения порчи пищевых продуктов.

Хитин - это широко доступный полисахарид, являющийся основным структурным компонентом панцирей ракообразных. Нанохитин может быть получен извлечением хитина из отходов панциря ракообразных путем деполимеризации и последующего кислотного гидролиза. Нанохитин находит широкое применение в пищевой промышленности благодаря своим уникальным характеристикам, таким как небольшой размер, растворимость, низкая плотность, большая площадь поверхности, низкая токсичность, способность к биodeградации и отличные механические характеристики [2]. Оптически активные углеродные точки могут быть синтезированы непосредственно на поверхности нанокристаллов хитина для создания флуоресцентного гибридного материала, чувствительного к выделяющимся при порче мяса газообразным продуктам. Благодаря своим превосходным оптическим свойствам флуоресцентные углеродные точки могут выступать в качестве детекторов, выделяющихся при порче мяса газов, которые снижают интенсивность фотолуминесценции при адсорбции [3].

С повышением уровня жизни вопросы безопасности пищевых продуктов привлекают всеобщее внимание. Мясо является одним из самых скоропортящихся среди основных видов продуктов питания человека и имеет самый короткий срок годности. Поэтому создание сенсора на основе углеродных точек на нанокристаллах хитина для определения порчи куриного мяса является перспективным.

Список литературы:

- [1] *Koskela J. et al. Sensors and Actuators B: Chemical. 218, 89-96 (2015).*
- [2] *Ngasotter, S., Sampath, L., & Xavier, K. M. Carbohydrate Polymers, 291, 119627 (2022).*
- [3] *Qin, Y., Huang, P., Wu, F. Y. Sensors and Actuators B: Chemical, 365, 131911 (2022).*

ВЛИЯНИЕ ЙОДА И ЕГО СОЕДИНЕНИЙ НА СКОРОСТЬ РАЗЛОЖЕНИЯ ПОЛИЛАКТИДА

Хавпачев М.А.¹, Малык Б.В.^{1,2}

¹Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова,
г. Москва

²Московский физико-технический институт, г. Москва
mukhamed_hav@mail.ru

В настоящее время одним из самых перспективных биоразлагаемых полимеров является полилактид (ПЛ) – термопластичный, биосовместимый сложный полиэфир алифатического ряда, получаемый из ежегодно возобновляемых ресурсов (кукуруза, рис, сахарный тростник и др.). ПЛ находит широкое применение для разработки различных изделий биомедицинского назначения и упаковочных материалов. Однако полимеру присущи и некоторые недостатки, а именно, хрупкость (максимальные разрывные удлинения не превышают 30-35%) и длительный срок разложения (~2 года в зависимости от молекулярной массы, степени кристалличности и др. параметров) [1]. Таким образом, разработка подходов к созданию функциональных материалов на основе полилактида с контролируемыми сроками разложения является актуальной задачей. Наиболее перспективный подход к регулированию скорости разложения – введение в полимерную матрицу добавок, ускоряющих или замедляющих деструкцию. В данной работе для создания композитных волокон на основе ПЛ (4032D “Nature Works”, молекулярная масса M_w 137 кДа, дисперсность 1.97) с ускоренными сроками разложения использовали молекулярный йод или йодистый калий в качестве функциональных добавок. Наполненные материалы получали методом классического крейзинга путем прямого ориентационного растяжения изотропно-аморфных волокон ПЛ в водно-этанольных растворах йода или йодида калия. Особенности гидролитической деструкции полученных образцов изучали в натрий-фосфатном буфере PBS (10 mM Na_2HPO_4 + 0.15 M NaCl; pH 7.4) при 37 °C в течение 8 недель. Впервые обнаружено, что введение йода в пористую структуру волокон ПЛ приводит к существенному ускорению их деструкции – значительные изменения молекулярно-массовых и механических характеристик полимеров происходят уже через 1 неделю. Также установлено, что йодистый калий, введенный в полиэфирную матрицу методом крейзинга, подвергается медленному окислению кислородом воздуха с образованием свободного йода – ускорителя деструкции. Гистологические испытания *in vivo* показали, что волокна, содержащие молекулярный йод, не формируют воспалительной инфильтрации окружающих тканей в зоне имплантации по сравнению с ненаполненными волокнами. Таким образом, обнаруженный в работе эффект ускорения гидролитической деструкции для биоразлагаемых полиэфирных волокон ПЛ, содержащих молекулярный йод, может найти применение в области разработки материалов с контролируемыми сроками разложения.

Список литературы: [1] Cameron R.E., Kamvari-Moghaddam A. Cambridge, Woodhead Publishing Ltd, 2012.

Благодарности Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, тема FFSM-2022-0003.

БИОСОВМЕСТИМЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ КРИОГЕЛЕЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ ХИРУРГИИ

Борисова Н.Н.¹, Пыкин А.Л.², Резвова М.А.¹

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Россия, г. Кемерово

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», Россия, г. Кемерово

Благодаря сходству структуры и упруго-деформационных свойств с нативными тканями гидрогели поливинилового спирта (ПВС) получили широкое распространение в различных областях медицины. Тем не менее, применение гидрогелей ПВС в сердечно-сосудистой хирургии ограничено ввиду недостаточной прочности биоматериалов [1]. Введение углеродных нанотрубок (УНТ) в полимерную матрицу физически сшитого полимера может стать перспективным решением указанной проблемы [2]. Целью данной работы стало получение нанокомпозитных гидрогелей методом криоструктурирования растворов ПВС и УНТ с улучшенными механическими свойствами. Для получения водных криогелей одностенные УНТ предварительно окисляли и вводили в реакцию этерификации с молекулами линейного ПВС. После чего модифицированные наночастицы и навеску ПВС с $M_n=146,0000-186,000$ растворяли в воде. Для получения растворов в смеси ДМСО/вода взвесь УНТ подвергли ультразвуковому диспергированию и добавляли порошок ПВС. Готовые однородные растворы подвергали заморозке при -40 с последующим нагреванием до комнатной температуры. Механические свойства образцов криогелей исследовали методом одноосного растяжения. Методами *in vitro* оценивали цитотоксичность, гемосовместимость и антибактериальные свойства полученных материалов. Водные криогели на основе модифицированных УНТ оказались менее прочными по сравнению с исходными гелями, что вызвано нарушением процесса формирования кристаллических доменов. При добавлении к раствору ПВС в смеси ДМСО/вода до 0.5% немодифицированных УНТ наблюдали рост механической прочности криогелей до 59% ($p<0.05$) по сравнению с чистым криогелем. Увеличение концентрации УНТ не приводило к улучшению свойств полимерного нанокомпозита. Все полученные криогели обладали низкой адгезивной способностью к клеткам, белкам и тромбоцитам, а также антибактериальными свойствами.

Список литературы:

- [1] Kumar A., Han S.S. International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials **66**(4), 159-182, (2016).
- [2] Gubaidullin A.T., Makarova A.O., Derkach S.R., Voron'ko N.G., Kadyirov A.I., Ziganshina S. A., Salnikov V.V., Zueva O.S., Y.F. Polymers (Basel), 14 (12), 2346 (2022).

СИНТЕЗ И ХАРАКТЕРИСТИКА БИСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ АДДУКТА ЭТИЛ-2-ЦИАНОАКРИЛАТА И ЖИРНЫХ СПИРТОВ

Кордюкова А.П.¹, Вихляева В.А.¹, Блинкова А.А.¹, Серегина Т.С.¹, Дятлов В.А.^{1,2}

¹*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, факультет нефтегазохимии и полимерных материалов, г. Москва*

²*Московский государственный технологический университет тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова
annakordukova2002@gmail.com*

Разработка систем адресной доставки лекарственных средств на основе высокоэффективных носителей, в том числе полимерных, является перспективным путем терапии онкологических и некоторых генно-обусловленных заболеваний. Особый интерес приобретают нанокапсулы с твердой стенкой с размером менее 200 нм и с амфифильной внешней оболочкой, схожей по строению с фосфолипидной частью плазмолеммы. Подобного рода системы способны проникать в клетки, минуя механизмы фаго- и пиноцитоза, что является необходимым условием при доставке лабильных физиологически активных веществ. Ранее это явление было известно для липосомальных систем. Однако их способность обмениваться инкапсулированным веществом друг с другом и с окружающей средой, а также высокая стоимость исходных реагентов дает толчок к разработке новых адресных систем доставки лекарственных препаратов с улучшенными свойствами.

В настоящее время разработано большое количество методов получения полимерных нанокорпускулярных носителей лекарственных средств. Многие из них предполагают использование токсичных растворителей, из-за чего число стадий получения наноносителей может быть увеличено за счет добавления стадии очистки. Предложенный нами метод основан на том, что при смешении двух растворов полимеров образуется двухфазная полимеризационная среда, при обработке ультразвуком которой образуется микроэмульсия раствора одного полимера в растворе другого. При добавлении в полученную систему амфифильного аддукта этил-2-цианоакрилатного и октилового спирта происходит формирование нанокапсул с твердой полимерной стенкой, препятствующей обмену веществом. Для облегчения проникновения наночастиц в клетку наночастицы дополнительно покрыли фосфолипидным внешним слоем.

В ходе проделанной работы были изучены основные характеристики наноносителей. Установлено, что бислойные наночастицы на основе аддукта этил-2-цианоакрилата и октилового спирта имеют размер менее 200 нм и околонеутральный заряд поверхности скольжения, что открывает новые перспективы для их применения в наномедицине.

СЕКЦИЯ 3
***БИОПОЛИМЕРЫ И ПОЛИМЕРЫ МЕДИЦИНСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ***

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПРИГОТОВЛЕНИЯ НА РАЗМЕРЫ ЧАСТИЦ ЗЕИНА

Арлакова Е.А.¹, Бочек А.М.¹, Шевченко Н.Н.¹

¹*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург, Россия
arlakova19@bk.ru*

Зеин является белком растительного происхождения. Благодаря его биосовместимости и биоразлагаемости возрастает интерес к применению зеина в косметике, фармацевтике и медицине. Для медицинских целей получают микро- и нанокапсулы, а также нановолокна биополимера [1]. Целью настоящей работы являлось изучение факторов, оказывающих влияние на получение микро- и нанокапсул зеина из водноспиртового раствора белка при его осаждении в воду.

В воду постепенно добавляли 0.2%-ный раствор зеина в 70%-ном растворе этилового спирта, обрабатывали ультразвуком в течение 3-5 мин с одновременным перемешиванием на магнитной мешалке, после чего дополнительно перемешивали 15 мин. Соотношение по объему раствор зеина : вода изменяли от 1:2.5 до 1:3.0. Размеры частиц определяли с помощью метода динамического рассеяния света на установке «Zetasizer Nano-ZS (Malvern, Великобритания)».

Показано, что после диспергирования средний размер частиц составил 280 нм. При этом наблюдаются и микрочастицы (около 1000 нм). В зависимости от времени обработки ультразвуком и последующего механического перемешивания средний размер частиц варьируется от 280 до 415 нм и во всех образцах присутствуют микрочастицы с размером около 1000 нм. При выдерживании во времени наблюдается увеличение среднего размера частиц, что предполагает их стабилизацию в растворе. Установлено, что при длительной обработке ультразвуком из-за термического воздействия частицы зеина образуют желтую пластичную массу на поверхности раствора, что ограничивает время диспергирования раствора с помощью ультразвука.

Список литературы:

[1] *De Marco I. Zein Microparticles and Nanoparticles as Drug Delivery Systems. Polymers* **14**, 2172 (2022).

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ КАРБОКСИМЕТИЛХИТОЗАНА

Арлакова Е.А.¹, Бочек А.М.¹, Шевченко Н.Н.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург
arlakova19@bk.ru*

Хитозан (ХТЗ) растворяется в подкисленных водных средах, и он находит широкое применение в сельском хозяйстве, пищевой промышленности, фармацевтике, биомедицине и косметике. Ограничивает области применения хитозана отсутствие их растворимости в воде. С целью придания хитину и ХТЗ растворимости в воде проводят их химическую модификацию. Наиболее доступным способом получения водорастворимого производного ХТЗ является синтез карбоксиметилхитозана (КМ-ХТЗ). Условия синтеза КМ-ХТЗ близки к условиям (технологии) производства широко применяющейся карбоксиметилцеллюлозы [1, 2].

Целью настоящей работы являлось получение микрочастиц на основе карбоксиметилхитозана (КМ-ХТЗ) с включенным в него лекарственным веществом (анальгин).

В 0,2%-ный спиртовой раствор зеина постепенно добавляли 50%-ный водный раствор анальгина и перемешивали в течении 30 мин. Затем раствор смеси зеина с анальгином вливали в заранее приготовленный 0.8%-ный водный раствор КМ-ХТЗ и обрабатывали ультразвуком в течении 3 мин. с одновременным перемешиванием на магнитной мешалке, после чего дополнительно перемешивали 30 мин. В полученный раствор по каплям добавляли хлористый кальций и перемешивали еще 30 мин. Так же были приготовлены контрольные частицы без анальгина и кальция. Размеры частиц определяли с помощью метода динамического рассеяния света на установке «Zetasizer Nano-ZS (Malvern, Великобритания)».

Показано, что микрочастицы зеина с КМ-ХТЗ имеют бимодальное распределение (наблюдаются микрочастицы со средним диаметром 200 и 1100 нм). После обработки частиц раствором хлористого кальция размеры наблюдаются мономодальное распределение частиц по размерам и их размеры увеличились до 1240 нм. В случае введения в водный раствор КМ-ХТЗ смеси зеина с анальгином получены частицы размером 3 мкм. Наблюдаемые расхождения в размерах частиц указывают на необходимость дальнейшей отработки технологии приготовления (смешения) исследуемых растворов.

Список литературы:

[1] *Fonseca-Santos B., Chorilli M.* An overview of carboxymethyl derivatives of chitosan: Their use as biomaterials and drug delivery systems. *Materials Science and Engineering* **77**, 1349 (2017). [2] *Bochek A.M., Terekhova E.A., Popova E.N., Smirnova V.E., Yudin V.E., Gofman I.V., Abalov I.V., Lavrent'ev V.K.* Aqueous Solutions of Carboxymethyl Chitosan Mixtures with Methyl Cellulose and Composite Films on Their Basis. *Polymer Science*, **64** (5), 368 (2022).

ИНТРАВИТРЕАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ГЛЮКОКОРТИКОСТЕРОИДОВ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ

Бокатый А.Н.¹, Дубашинская Н.В.¹, Скорик Ю.А.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
qwezakura@yandex.ru*

Интравитреальные инъекции в настоящее время являются наиболее используемыми системами доставки лекарств конкретно к целевым участкам заднего сегмента глаза, однако эта медицинская процедура является инвазивной, и частые инъекции могут иметь серьезные побочные эффекты, включая инфекции и отслоение сетчатки [1]. По этой причине мы разработали улучшенную систему доставки с пролонгированным профилем высвобождения кортикостероида, при этом сохраняя концентрацию лекарственного средства на адекватном терапевтическом уровне. Использование полимерных конъюгатов для интравитреальной доставки (например, кортикостероида дексаметазона, Декс) имеет большой потенциал, однако до сих пор этот подход используется крайне редко [2].

Цель исследования – разработать системы интравитреальной доставки дексаметазона (DEX) на основе конъюгатов DEX с анионными полисахаридами для обеспечения пролонгированного (не менее одного месяца) высвобождения DEX в стекловидном теле.

Мы получили конъюгатов DEX с гиалуроновой кислотой через сложноэфирную связь, используя 4-Диметиламинопиридин в качестве катализатора. Конъюгаты были охарактеризованы при помощи ЯМР, ИК-спектроскопии, DOSY-спектра. Размер полученных частиц составлял 200–600 нм, ζ -потенциал – от –20 до –30 мВ. Исследования высвобождения *in vitro* при pH 7,4 показали медленное высвобождение дексаметазона в течение месяца, от 60 до 90% дексаметазона высвобождались из наших конъюгатов в течение месяца.

Совокупность полученных экспериментальных данных позволяет рекомендовать конъюгаты DEX с гиалуроновой кислотой для дальнейшего изучения в качестве пролонгированных систем интравитреальной доставки DEX.

Список литературы:

[1] Cox, J.T.; Elliott, D.; Sobrin, L. Inflammatory complications of intravitreal anti-vegf injections. *Journal of Clinical Medicine*, **10**, 981 (2021).

[2] Bhattacharya, M.; Sadeghi, A.; Sarkhel, S.; Hagström, M.; Bahrpeyma, S.; Toropainen, E.; Auriola, S.; Urtili, A. Release of functional dexamethasone by intracellular enzymes: A modular peptide-based strategy for ocular drug delivery. *Journal of Controlled Release*, **327**, 584 (2020).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 23-23-00148.

**ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ ГЕЛЬ-ПЛЕНОК
БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, СИНТЕЗИРУЕМОЙ ШТАММОМ
GLUCONACETOBACTER HANSENI GH-1/2008 ПРИ РАЗНЫХ
ТЕМПЕРАТУРАХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ**

Болгова А.Л.¹, Архарова Н.А.², Каримов Д.Н.², Ключковская В.В.²,
Громовых Т.И.^{1,2}

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Московский политехнический университет», Москва
²Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова ФНИЦ «Кристаллография и
фотоника» РАН, Москва, Россия
*ashi-chi@yandex.ru*¹, *natalya.arkharova@yandex.ru*²

Бактериальная целлюлоза (БЦ) – биополимер, обладающий уникальными свойствами (высокая степень чистоты, улучшенные механические и влагоудерживающие, биоразлагаемость и биосовместимость) и имеющий пористую 3D-структуру, состоящую из переплетающихся между собой фибрилл [1, 2]. Биосинтез БЦ изучен достаточно хорошо, и на данный момент с целью увеличения выхода полимера, уменьшению его стоимости, а также получению новой информации о конечном продукте интерес исследователей направлен на изменение условий культивирования за счет варьирования не только состава питательной среды, но и характеристик самого синтеза [3, 4]. Температура культивирования является одним из важнейших факторов при синтезе БЦ, поскольку напрямую влияет на рост клеток [4]. Это, в свою очередь, влияет на изменение морфологии и структуры пленок, являющиеся основными характеристиками для определения области их дальнейшего применения. Целью данной работы являлось изучение структурно-морфологических особенностей и свойств гель-пленок БЦ в зависимости от температуры, а также определение оптимального диапазона температур для синтеза БЦ отечественным штаммом *Gluconacetobacter hansenii* GH-1/2008. Культивирование БЦ проводилось в статическом режиме при варьировании температур от 5 до 40 °С. Микроструктура и морфология конечного продукта была изучена методами сканирующей электронной микроскопии, рентгеновской дифрактометрии, ИК-спектроскопии. В результате проведенных исследований установлена взаимосвязь между микроструктурой БЦ и источником углерода в питательной среде и температурой для культивирования штамма *Gluconacetobacter hansenii* GH-1/2008, что в дальнейшем позволит оптимизировать выход гель-пленок и управлять свойствами при синтезе бактериальной целлюлозы для создания материалов с различными характеристиками.

Список литературы:

- [1] Ross P., Mayer R., Benziman M. Microbiological reviews, **55** (1), 35 (1991).
- [2] Huang Y., Zhu C., Yang J., et al. Cellulose, **21**, 1 (2014).
- [3] Болгова А.Л., Шевцов А.А., Архарова Н.А., и др. Кристаллография, **68** (4), 607 (2023).
- [4] Volova T.G., Prudnikova S.V., et al. Appl Microbiol Biotechnol, **102** (17), 7417 (2018).

**МОЛЕКУЛЯРНЫЕ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
СОПОЛИМЕРОВ
2-АКРИЛАМИДО-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ С
2-ГИДРОКСИЭТИЛМЕТАКРИЛАТОМ**

Борисенко М.С.¹, Вагин А.А.¹, Тарабукина Е.Б.¹, Красова А.С.¹, Смирнова М.Ю.¹,
Сёмина А.Ю.^{1,2}

¹*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург*

²*Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет), г. Санкт-Петербург
aarghm@hq.macro.ru*

В целях разработки новых систем доставки БАВ были синтезированы новые водорастворимые статистические сополимеры 2-акриламидо-2-метилпропансульфокислоты (2-ААМПСК) с 2-гидроксиэтилметакрилатом (2-ГОЭМА) с различным содержанием 2-ГОЭМА (23,2-83,5 мол%) посредством свободнорадикальной сополимеризации при варьировании состава и концентрации исходной мономерной смеси.

Сополимеры были исследованы методами молекулярной гидродинамики, светорассеяния и рефрактометрии в водных растворах NaCl различной ионной силы при 21°C. Измерена характеристическая вязкость в 0,15 н NaCl при 25°C, рассчитана средневязкостная молекулярная масса образцов по уравнению Марка-Куна-Хаувинка для поли-2-ААМПСК [1]. Средневесовые молекулярные массы сополимеров, гидродинамические радиусы R_{h-D} и состав рассеивающих объектов определяли методами статического и динамического светорассеяния.

Средневесовые молекулярные массы сополимеров составили 5000 - 125400. В растворах 2-ААМПСК-2-ГОЭМА было обнаружено бимодальное распределение рассеивающих объектов, свидетельствующее о присутствии агрегатов, которые могут формироваться за счёт гидрофобных взаимодействий звеньев 2-ГОЭМА. Снижение количества заряженных групп (звенья 2-ААМПСК) способствовало уменьшению доли и размеров надмолекулярных структур R_{h-agg} .

Увеличение ионной силы раствора приводило к усилению агрегации.

Наименьшая агрегация (по вкладу в интенсивность рассеяния света) наблюдалась для образцов в диапазоне молекулярных масс 5800–18000 (содержание ГОЭМА 35,4–30,5 мол%) в 0,5 М NaCl.

Список литературы:

[1] Fisher, L. W., Sochor, A.R., Tan, J.S. *Macromolecules*. 10 (5), 949 (1977).

ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА, ХОНДРОИТИН-СУЛЬФАТА И КОЛИСТИНА

Боровской А.Ю.¹, Дубашинская Н.В.¹, Скорик Ю.А.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
wasborn54@gmail.com*

Полиэлектролитные комплексы (ПЭК) на основе природных полисахаридов хорошо зарекомендовали себя как потенциальные системы доставки колистина. Загрузка антибиотика в ПЭК обеспечивает модифицированное высвобождение и адресную доставку к очагам инфекции, тем самым увеличивая биодоступность колистина, снижая его токсичность и побочные эффекты [1]. Являясь поликатионным пептидным антибиотиком, колистин обладает способностью взаимодействовать с анионными полимерами формируя отрицательно заряженные ПЭК, которые могут быть дополнительно покрыты катионным полисахаридом хитозаном или его производными для улучшения парацеллюлярной проницаемости колистина [2, 3].

Целью данного исследования была разработка методики получения полимерной системы доставки колистина на основе ПЭК, образованного за счет интерполимерных взаимодействий между полианионом хондроитин-сульфатом и поликатионом хитозаном (или цианокобаламин-хитозаном) с включением в образовавшийся комплекс положительно заряженных молекул колистина, и оценка ее антимикробной активности. Было изучено влияние порядка смешивания, соотношения массы компонентов и pH на физико-химические свойства полученных ПЭК. Наиболее перспективными для биомедицинского применения оказались частицы, полученные при добавлении 3-х массовых частей цианокобаламин-хитозана в виде раствора в 0,1 М уксусной кислоте (pH = 3,5) к 1 массовой части дисперсии колистина с хондроитин сульфатом (массовое соотношение 1:1) Гидродинамический диаметр сформированных ПЭК составил 446 нм, ζ-потенциал +22 мВ, эффективность инкапсулирования составила 100%. Полученные частицы также характеризовались высокой мукоадгезией. Испытания *in vitro* показали, что колистин в составе ПЭК сохраняет свою антибактериальную активность на уровне исходного колистина (минимальная ингибирующая концентрация в отношении *P. aeruginosa* 1 мкг/мл).

Таким образом, полученные ПЭК являются перспективными системами доставки колистина с улучшенными биофармацевтическими свойствами.

Список литературы:

- [1] Dubashynskaya N.V., Skorik Y.A. *Pharmaceuticals*, **13** (5), 83 (2020).
- [2] Dubashynskaya N.V., Raik S.V., Dubrovskii Y.A., Demyanova E.V., Shcherbakova E.S., Poshina D.N., Shasherina A.Y., Anufrikov Y.A., Dobrodumov A.V., Skorik Y.A. *Int. J. Biol. Macromol.*, **187**, 157-165 (2021).
- [3] Dubashynskaya N.V., Raik S.V., Dubrovskii Y.A., Poshina D.N., Shasherina A.Y., Anufrikov Y.A., Skorik Y.A. *Int. J. Mol. Sci.*, **22** (16), 8381 (2021).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 19-73-20157-П).

НАНОВОЛОКНИСТЫЕ СКАФФОЛДЫ НА ОСНОВЕ ФОТОСШИВАЕМЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ

Вагина Е.М.¹, Пошина Д.Н.¹, Скорик Ю.А.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

Тканеинженерные скаффолды представляют собой матрицы, основные функции которых состоят в создании механического каркаса для клеток и обеспечении формирования полноценной ткани. Основопологающими факторами при выборе материала для создания скаффолдов является их способность к имитации микроокружения клеток и биологическая совместимость с тканями. Для данного исследования были выбраны природные полисахариды, альгинат и гиалуроновая кислота. Преимуществами альгината являются поддержание дифференцировки клеток [1]. Гиалуроновая кислота может обеспечивать поглощение большого количества экссудата, а также усиливать адгезию клеток [2]. Нановолокнистая структура скаффолдов, получаемых методом электроформования, также максимально точно имитирует структуру межклеточного матрикса, а высокая пористость таких скаффолдов обеспечивает эффективный обмен жидкости и растворенных метаболитов [3]. Так как большинство природных полисахаридов водорастворимы и не сохраняют после формования структуру волокна в физиологических средах, в работе использовали полисахариды, модифицированные фотосшиваемыми метакрильными группами.

В ходе работы были синтезированы метакрилированные производные альгината, гиалуроновой кислоты и ПВС. ПВС обеспечивает инициацию процесса электроформования полисахаридов, а также придает механическую прочность волокнам. Производные были охарактеризованные по степени замещения методами ¹H ЯМР-спектроскопии и спектрофотометрии. Методом бескапиллярного электроформования были получены нановолокнистые материалы из фотосшиваемых полисахаридов, показавшие хорошую стабильность в физиологических условиях после фотосшивания под действием УФ-излучения. Таким образом, полученные материалы перспективны для применения в области тканевой инженерии.

Список литературы:

- [1] Sun J., Tan H. *Materials*, **6**(4), 1285 (2013).
- [2] Mariana F.P. Graça a 1, Sónia P. Miguel a b 1, Cátia S.D. Cabral a, Ilídio J. Correia. *Carbohydrate Polymers*, **241** (2020).
- [3] Poshina D.N., Tyshkunova I.V., Petrova V.A., Skorik Y.A. *Electrospinning of Polysaccharides for Tissue Engineering Applications. Reviews and Advances in Chemistry*, **11**, 112 (2021).

РАДИКАЛЬНАЯ СОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ 2-АКРИЛАМИДО-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ С 2-ГИДРОКСИЭТИЛМЕТАКРИЛАТОМ В ПОЛЯРНЫХ СРЕДАХ

Вагин А.А.¹, Борисенко М.С.¹, Тарабукина Е.Б.¹, Соловский М.В.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

Использование ионогенных синтетических водорастворимых сополимеров в качестве носителей биологически активных веществ, увеличивая биодоступность, а также избирательность их транспорта в клетку-мишень, представляет большой интерес исследователей, работающих на стыке химии, физики и фармакологии. Составные и структурные характеристики макромолекулярных цепей таких носителей определяют конформационные свойства растворимой лекарственной формы, способность макромолекул к самоассоциации, стерическую доступность функциональных групп сополимера к взаимодействию с переносимым агентом и количество связанного фармакофора. Изучение особенностей синтеза полимеров-носителей позволяет выявить условия для получения носителей с конкретными свойствами, оптимальными для конъюгации с лекарственным средством.

В рамках работы определяли относительные активности 2-акриламидо-2-метилпропансульфокислоты (2-ААМПСК, M_1) и 2-гидроксиэтилметакрилата (2-ГОЭМА, M_2) при совместной сополимеризации в полярных средах ДМСО и этанола. Концентрация мономеров составила 20 мас%, инициатора – 3,0 мас%. Конверсия получаемых сополимеров не превышала 11%. Состав сополимеров определяли при помощи потенциометрического титрования сульфогрупп. Расчет относительных активностей осуществляли по модели концевой звена с использованием дифференциального уравнения сополимеризации. Для расчета использовали методы Майо-Льюиса, Файнемана-Росса, Келена-Тьюдоша, Езриелева-Брохиной-Роскина (ЕБР). Исходя из полученных значений относительных активностей мономеров, рассчитывали параметры микроструктуры полимерных цепей, а также параметры Q и e схемы Алфрея-Прайса.

Значения констант сополимеризации для искомым мономеров, полученные методом ЕБР, составили $r_1 = 0,38 \pm 0,04$, $r_2 = 2,47 \pm 0,37$ в ДМСО и $r_1 = 0,23 \pm 0,01$, $r_2 = 1,17 \pm 0,10$. С повышением полярности среды наблюдалось увеличение относительных активностей обоих мономеров, связанное с образованием ассоциатов незаряженных мономеров, стабилизирующихся частично ионизированными молекулами 2-ААМПСК. Сопolíмеры 2-ААМПСК–2-ГОЭМА, полученные в этаноле, обладали большей склонностью к чередованию. Наибольшая тенденция к образованию чередующихся сополимеров проявляется при соотношении 2-ААМПСК:2-ГОЭМА = 70:30 мол%. Значения $Q = 0,97$ и $e = +0,76$ для искомым мономеров, полученные в этаноле, сопоставимы с литературными данными [1], показывая воспроизводимость результатов работы.

Список литературы:

[1] Sung Y.K., Lee S.Y., O J.J. Polymer (Korea), 7 (6), 392 (1983).

СОЗДАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-3-ГИДРОКСИБУТИРАТА ДЛЯ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ МЕДИЦИНЫ

Варьян И.А.^{1,2}, Тюбаева П.М.^{1,2}

¹ФГБОУ ВО Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова,
г. Москва

²ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской
Академии наук,
г. Москва

ivetta.varyan@yandex.ru

Актуальной научной проблемой является поиск и определение фундаментальных основ для разработки эффективных биорезорбируемых персонифицированных средств для регенеративной медицины. Заживление ран представляет собой сложную серию взаимодействий между клетками и ранозаживляющей системой. Многочисленные системные и местные факторы могут замедлять процесс заживления ран, вызывая нарушения в тонко сбалансированных процессах регенерации, что приводит к хроническим незаживающим ранам [1]. Существует большое число подходов к обеспечению эффективного заживления ран с учетом особенностей протекания данного процесса [2], причем наиболее успешными следует считать подходы, основанные на создании комбинированных биосовместимых систем, предотвращающих нарушения восстановления тканей и образования шрамов, а также обладающие антимикробным эффектом [3]. Создание современных нанокomпозиционных волоконных материалов с ценными функциональными свойствами на основе биоразлагаемых полимеров позволяет предложить новые эффективные подходы к получению инновационных материалов для решения проблем биомедицинского характера в области ранозаживления.

Данная работа направлена на создание и отработку технологии производства нетканых перевязочных материалов для регенеративной медицины на основе системы биополимер-модифицирующая добавка-белок, а также на исследование фундаментальных закономерностей, формирующих важнейшие эксплуатационные свойства, определяющие эффективность ранозаживления.

Список литературы:

- [1] *Steed D. L.* Surg. Clin. North Am. **83**(3), 547 (2003).
- [2] *Wang P. H., Huang B. S., Horng H. C., Yeh C. C., Chen Y. J.* Journal of the Chinese Medical Association. **81** (2), 94 (2018).
- [3] *Juncos Bombin, A. D., Dunne, N., McCarthy, H. O.* Materials Science and Engineering: C., 110994 (2020).

Благодарности

*Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ МК-1651.2022.1.3.
Настоящая работа была выполнена с использованием оборудования ЦКП ФГБОУ
ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова» и центра коллективного пользования (ЦКП) ФГБУН
«ИБХФ им. Н.М. Эмануэля» РАН «Новые материалы и технологии».*

ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ pH-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ КОЛЛОИДЫ НАНОБИОКОМПОЗИТОВ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА С ПОЛИГАЛАКТУРОНОВОЙ КИСЛОТОЙ

Гасилова Е.Р.¹, Александрова Г.П.²

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

²*Иркутский институт химии Сибирского отделения Российской Академии наук,
г. Иркутск
mrsgas@mail.ru*

Применение наночастиц серебра (НЧ_{Ag}) в биомедицине диктуется их плазмонным резонансом в видимой области, а также их бактерицидными свойствами. Оболочка из полисахаридов, придающая коллоидную устойчивость НЧ_{Ag}, перспективна для биомедицинских применений ввиду биосовместимости, биodeградируемости и биоактивности полисахаридов. Для создания средств доставки лекарств направленного действия желательно применять полисахариды, структура которых зависит от pH. В связи с этим в настоящей работе исследованы коллоиды нанобиокомпози́тов (НБК), в которых НЧ_{Ag} покрыты оболочкой полигалактуроновой кислотой (ПГК), являющейся основной цепью пектинов. ПГК - слабый анионный гелеобразующий полиэлектролит, агрегация которого связана с образованием пачек спиральных конформеров. Агрегация спиралей ПГК усиливается при уменьшении pH вследствие уменьшения электростатического отталкивания карбоксильных групп при их протонировании.

НЧ_{Ag} были получены восстановлением ионов серебра с помощью функциональных групп ПГК, окончательно структура НБК была сформирована наноосаждением в органический растворитель (этанол). Подобным же способом наноосаждения были сформированы и коллоиды исходной ПГК и показано, что pH-чувствительность пачек спиральных конформеров приводит к зависимости формы коллоидов ПГК от pH [1]. С помощью статического и динамического рассеяния поляризованного и деполаризованного света коллоидами НБК установлено, что агрегация спиралей ПГК в оболочке НЧ_{Ag} приводит к схожей pH-зависимости формы коллоидов НБК [2]. Сравнением дисперсий оптического рассеяния коллоидов ПГК и ПГК@НЧ_{Ag} установлено, что коллоиды НБК обнаруживают pH-зависимый хироплазмонный эффект Коттона. Зависимость свойств ПГК-оболочки от pH перспективна для применения НБК в качестве средств доставки лекарств направленного действия, а также в качестве энантиоселективных сенсоров и катализаторов [3].

Список литературы:

- [1] Gasilova E.R., Alexandrova G.P., Carbohydrate Polym., **291**, 119521 (2022).
- [2] Gasilova E.R., Alexandrova G.P., Tyshkunova I.V., Dubashinskaya N.V., Vlasova E.N., Romanov D.P., J. Nanopart. Res., **25**, 10 (2023).
- [3] Wu W., Pauly M. Mater Adv., **3**, 186 (2022).

Благодарности

Работа выполнена по госзаданию. Тема АААА-А20120022090038 – 1.

СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ КАРКАСОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОСТНОЙ ТКАНИ

Москалюк О.А.¹, Герасимова Д.С.¹

¹Лаборатория полимерных и композиционных материалов «SmartTextiles»,
МНИЦ «Когерентная рентгеновская оптика для установок Мегасайнес»,
Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта
dst-678677g@mail.ru

Одной из проблем современной медицины является восстановление дефектов костной ткани критического размера, образующихся в результате переломов, врожденных и приобретенных патологий, инфекций или новообразований. Наиболее перспективным решением данной проблемы является имплантация трехмерных каркасов на основе биомедицинских полимеров в дефект кости. Такой подход имеет ряд достоинств по сравнению с традиционными методами лечения (аутогенные и аллогенные трансплантаты и металлические имплантаты): единократное хирургическое вмешательство, неограниченное количество материалов, отсутствие риска инфицирования в месте имплантации, возможность исключения иммунологического отторжения и создания индивидуальных трехмерных имплантатов.

Перспективы развития костной инженерии связаны с изготовлением каркасов с оптимальными свойствами, а также с наполнением каркасов биоактивными молекулами или лекарственными веществами. Требования, предъявляемые к трехмерным каркасам для инженерии костной ткани, включают: остеоиндуктивность и остеокондуктивность, биосовместимость, смачиваемость, достаточную пористость и механические свойства, а также способностью к биоразложению, ангиогенезу и васкуляризации.

В качестве полимерных матриц используют как природные, так и синтетические полимеры, такие как хитозан, гиалуроновая кислота, коллаген, полимолочная кислота, поликапролактон и др. В качестве наполнителя применяют неорганические вещества: гидроксиапатит, биоактивные стекла, биокерамики. Биокерамика является подобием неорганической фазы костного внеклеточного матрикса – гидроксиапатита, а полимеры – органической фазы, то есть коллагена.

Главный недостаток большинства природных и некоторых синтетических полимеров – низкие механические свойства по сравнению с нативной костной тканью. Этот недостаток можно устранить путем добавления неорганической фазы, например, гидроксиапатита или биокерамики. Мы проанализировали имеющиеся данные о композитах и выявили, что механические свойства большинства из них соответствуют лишь трабекулярной части кости. Таким образом, в нашей работе стоит задача создать такой филамент, который будет обладать достаточными механическими характеристиками и высокой биосовместимостью, обеспечивающей безопасное и эффективное применение материала.

Благодарности

Исследование было поддержано за счет средств программы стратегического академического лидерства "Приоритет 2030" БФУ им. И. Канта.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИКСОТРОПНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКРИЛОВЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ, НАПОЛНЕННЫХ ДЕТОНАЦИОННЫМИ НАНОАЛМАЗАМИ

Григорьев Д.В.¹, Сивцов Е.В.², Хоманец Е.В.², Успенская М.В.¹

¹Национальный исследовательский университет ИТМО, г. Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург
dmitriy-get@rambler.ru

Гидрогели — это материалы, обладающие свойствами твердых веществ: они обычно имеют определенную форму и измеримые механические свойства, а также свойства жидкости, которые обеспечивают легкое поглощение, диффузию и высвобождение молекул. Гидрогели нашли широкое применение в промышленности, а также ценны для медицины, например, в системах контролируемого высвобождения лекарств, раневых повязок, матриц для создания тканевых культур. Гидрогелевые повязки применяются для лечения большого количества кожных поражений (ожоги, язвы, послеоперационных раны). Гидрогели, обладающие тиксотропными характеристиками, являются новым материалом, способным восстанавливать структуру после критического воздействия. Такие материалы, наполненные лекарственными веществами, могут быть отличной системой доставки биологически активных веществ к органам и тканям.

В работе исследованы полимерные композиционные материалы на основе акриловых гидрогелей, наполненных наноалмазными частицами.

Детонационные наноалмазы (ДНА) улучшают механические свойства полимерных композиционных материалов (ПКМ). Функциональные группы на их поверхности обеспечивают конъюгацию с полимерными цепями. В то же время, ДНА оказывают противомикробное и противовирусное действие [1]. Применение их в составе гидрогелей перспективно, поскольку позволяет модифицировать физико-механические свойства и придать материалам биологическую активность.

Для подтверждения тиксотропных свойств акриловых ПКМ в работе была синтезирована серия из 7 образцов, отличающиеся содержанием наполнителя (0–0.75 масс.% к сухому полимеру). Были проанализированы временные зависимости динамических модулей G' и G'' гидрогелей в трех последовательных режимах воздействия: рост амплитуды – выдержка при максимальной амплитуде осцилляций – уменьшение амплитуды до первоначального значения (все при постоянной частоте 1.5 Гц). Анализ показал, что происходит восстановление модуля упругости системы до исходных значений, что свидетельствует о тиксотропных свойствах, полученных материалов.

Список литературы:

[1] Shugalei I. V., Voznyakovskii A. P., Garabadzhiu A. V., Tselinskii I. V., Sudarikov A. M., Ilyushin M. A. Russian Journal of General Chemistry, **83** (5), 851 (2013).

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ПОЛИМЕРНОГО КОСТНОГО ЦЕМЕНТА ДЛЯ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ СУСТАВОВ

Григорьева А.О.¹, Зайцев С.Д.¹

¹*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия
grigoreva@chem.unn.ru*

По данным Американской академии хирургов-ортопедов, к 2030 году общее количество операций по пересадке коленного сустава вырастет на 673%, до 3,5 млн операций в год. Ожидается, что рост рынка костного цемента будет стимулировать рост числа несчастных случаев и травм, распространенность приобретенных или врожденных деформаций опорно-двигательного аппарата, а также проведение ревизионных операций по эндопротезированию.

В целом, костный цемент можно определить как биоматериал, полученный путем смешивания порошкообразной и жидкой фаз, который можно формовать и имплантировать в виде пасты. Такие пасты применяются при установке цементных эндопротезов, где паста выполняет функцию «прослойки» между имплантатом и нативной костью. Цементы широко используются в различных областях ортопедической хирургии, нейрохирургии и травматологии. Самой распространенной областью применения является эндопротезирование коленного и тазобедренного суставов, а также использование при проведении вертебропластики и кифопластики.

На данный момент в России отсутствуют такие материалы собственного производства, являющиеся более доступными полными аналогами зарубежных цементах или же составы, обладающие лучшими свойствами.

По этой причине актуальной является разработка рецептуры костного цемента.

В настоящее время одним из компонентов костных цементах являются ароматические амины, выполняющие функцию инициатора процесса полимеризации. В качестве аминов были рассмотрены N,N-диметиланилин и N,N-диметилпаратолуидин. В ходе работы были подобраны оптимальное соотношение компонентов системы, которое не вызывает сильного разогревания смеси и приводит к формированию материала достаточной прочности (ГОСТ 5833-2011). Поскольку N,N-диметиланилин и N,N-диметилпаратолуидин проявляют высокую токсичность для организма человека, в ходе работы было предложено использование нового типа иницирующей систем на основе пары органоборан-кислород.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ (проект № 23-13-00342).

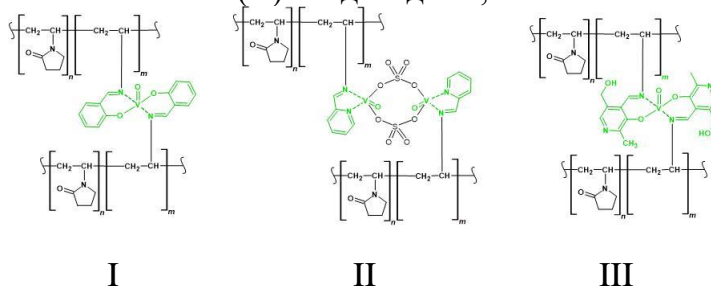
АНАЛИЗ МОЛЕКУЛЯРНЫХ И РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ИМИНОКОМПЛЕКСОВ ВАНАДИЯ(IV)

Дубров Е.Н.¹, Киппер А.И.¹, Меркушева С.С.², Каленик Д.Д.², Безрукова М.А.¹

¹Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, г. Санкт-Петербург
evgonij@gmail.com

Соединения ванадия демонстрируют способность улучшать чувствительность периферических тканей к инсулину, однако, возможность их применения для коррекции сахарного диабета ограничена низкой биодоступностью и токсичностью из-за плохой абсорбции из желудочно-кишечного тракта. Применение полимерных систем доставки для повышения управляемости высвобождения биологически активных ионов ванадия позволит преодолеть эти ограничения. Введение иминовых фрагментов в состав сополимера винилпирролидона с виниламином позволит образовывать лабильные комплексы с ионами ванадия, способные высвобождать их в ответ на определенные уровни pH. В работе получен ряд макромолекулярных иминокомплексов ванадия с салициловым (I) и пиколиновым (II) альдегидами, а также витамином B₆ (III).



Методами вискозиметрии, седиментационно-диффузионного анализа и динамического светорассеяния (ДРС) определены молекулярные массы и гидродинамические размеры (R_h) исходных, модифицированных сополимеров и их комплексов с ванадием в водно-солевом растворителе (0.1 М NaCl). Для сополимеров с ММ 40000÷70000 формирование комплексов с ванадием при сохраняющемся молекулярном весе сопровождалось уменьшением размеров молекулярных клубков за счет возникающих внутримолекулярных взаимодействий, проявляющихся в изменении термодинамического качества системы. Однако в процессе комплексообразования наблюдаются частицы существенно больших размеров, появление которых обусловлено межмолекулярными взаимодействиями. Количественный вклад таких ассоциатов был оценен по спектрам ДРС распределения по размерам, он изменялся в зависимости от молекулярной массы сополимера и участвующего в реакции альдегида. Визуальная прозрачность растворов, отсутствие их опалесценции и седиментационная устойчивость во всем интервале исследованных концентраций коррелирует со значением второго вириального коэффициента (A_2). Для сополимеров высокого молекулярного веса спектры ДРС свидетельствуют о превалировании межмолекулярной координации в процессе комплексообразования с ванадием.

ПОРИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И ПОЛИКАПРОЛАКТОНА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СОСУДИСТОЙ ХИРУРГИИ

Завражных Н.А.¹, Попов Г.И.³, Добровольская И.П.^{1,2}, Иванькова Е.М.^{1,2},
Юкина Г.Ю.³, Юдин В.Е.^{1,2}

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

²Институт высокомолекулярных соединений РАН

³Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет
им. акад. И.П. Павлова

zavrazhnykhna96@gmail.com

В большинстве стран мира в структуре смертности продолжают занимать первое место болезни сердечно-сосудистой системы (World health statistics, 2022). Основным методом лечения являются хирургические вмешательства, в ходе которых протезируют или шунтируют пораженные сосуды. Наиболее подходящими для шунтирования или протезирования сосудов, несомненно, являются аутооттрансплантаты, но это не всегда возможно из-за отсутствия здорового участка аутооттрансплантата. К сожалению, до сих пор остается актуальной проблема замены сосудов малого диаметра (менее 6 мм). С развитием тканевой инженерии появилась возможность получения тканеинженерных препаратов, по свойствам, максимально приближенным к нативным органам. Одним из основных требований к матрице является скорость его резорбции и скорость замещения нативной тканью, а также биосовместимость, прочность, сохранение целостности при действии динамических нагрузок и не отсутствие токсического действия полимера и продуктов резорбции.

Пористые материалы получали методом электроформования из поли-L-лактида и поли-ε-капролактона. Для определения отсутствия образования тромбов и аневризм проводилось экспериментальное исследование *in vivo* на самцах крыс породы Wistar. Полимерную матрицу длиной 10±1 мм имплантировали в брюшную аорту крысы. Методом электроформования получены трубчатые образцы из ПЛА и ПЛА+ПКЛ. Матрицы на основе ПЛА, подвергались термической обработке при температуре 80 °С в течение часа, в результате чего наблюдалась частичная кристаллизация полимера, уменьшение толщины стенки и увеличение механических характеристик по сравнению с аморфными образцами.

Исследование механических свойств показало оптимальные свойства у материалов из ПЛА и ПЛА+ПКЛ. Они обладают необходимой прочностью и достаточной эластичностью, позволяющей проводить хирургические манипуляции без хрупкого разрушения. Экспериментальное исследование в условиях *in vivo* показало, что через 18 месяцев отсутствует образование тромбов и аневризм у матрицы на основе нановолокон из ПЛА+ПКЛ. Результаты гистологического исследования графтов, имплантированных в брюшную аорту крысы на длительные сроки, показали активно протекающие процессы интеграции матрицы в сосудистое русло.

**ВЛИЯНИЕ ГИДРОКСИЛЬНОЙ ГРУППЫ В СТРУКТУРЕ
ПРОТИВООПУХОЛЕВЫХ АНТРАЦИКЛИНОВЫХ АНТИБИОТИКОВ НА
СПЕКТРАЛЬНЫЕ И РАЗМЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
КОМПЛЕКСОВ «НАНОЧАСТИЦА СЕЛЕНА – ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОН –
АНТИБИОТИК»**

Киппер А.И.¹, Боровикова Л.Н., Гаркушина И.С.

¹*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург
kipper@imc.macro.ru*

Антрациклиновые антибиотики дауномицин (ДМ) и доксорубицин (ДОКС) широко применяются при лечении злокачественных опухолей различной этиологии и считаются в химиотерапии наиболее перспективными препаратами. Однако практическое применение ДМ и ДОКС (как и других противоопухолевых антибиотиков) ограничено их кардиотоксичностью и развитием резистентности опухолевых клеток. В последние годы большое внимание уделяется модификации антибиотиков, созданию препаратов с различными механизмами действия, разработке новых методов доставки лекарственных средств, что может привести к появлению новых, более качественных препаратов для клинического применения. Один из подходов модификации антибиотиков - получение комплексов на основе противоопухолевых антибиотиков, наночастиц биогенных элементов и биосовместимых полимеров. Наночастицы селена (Se) обладают в сравнении с другими селен-содержащими соединениями значительно меньшей токсичностью и предотвращают образование злокачественных опухолей. К сожалению, наночастицы Se гидрофобны и не образуют устойчивых водных растворов. Было показано, что в водном растворе эффективным стабилизатором НЧ Se является ПВП. Наночастицы Se синтезировали по реакции между селенистой (H_2SeO_3) и аскорбиновой ($C_6H_8O_6$) кислотами. Полученные наночастицы были седиментационно нестабильны и выпадали в осадок через 5-10 часов. Для получения наноконплекса с ДМ или ДОКС был разработан способ синтеза с предварительной стабилизацией наночастиц селена ПВП и с последующим введением антибиотика при атмосферном давлении и температуре 20^oC [1]. Выбор концентраций при синтезе тройных комплексов определялся областями концентраций, в которых ДМ, ДОКС, Se и ПВП используются в практической медицине.

Вовлеченность компонентов тройных комплексов в межмолекулярные взаимодействия оценивали спектрофотометрическим методом по изменениям характеристических максимумов спектров поглощения ДМ и ДОКС. Значения гидродинамических радиусов наноструктур R_h получали методом динамического рассеяния света с использованием установки Fotocor Complex (источник света - He-Ne-лазер с длиной волны $\lambda = 632.8$ нм, мощностью ~ 20 mV; коррелятор Photocor-FC с числом каналов 288) (ЗАО «Антекс», Россия). Радиусы инерции R_g комплексов определяли по измерениям характеристической асимметрии рассеянного света. Установлено, что ОН-группа, присутствующая в молекулярной структуре ДОКС, не оказывала влияния на размеры тройных наноконплексов (ПВП-Se)-ДОКС по сравнению с наноконплексами (ПВП-Se)-ДМ. При этом наноконплексы формировались достаточно малого размера: с R_g от 40 до 60 нм и R_h от 20 до 70 нм. Это дает возможность использовать эти комплексы при лечении раковых заболеваний. Наличие ОН-группы в агликоне молекулы ДОКС, способствующей гидрофилизации этой части молекулы, приводило к формированию наноконплексов (ПВП-Se)-ДОКС с более рыхлой, протекаемой оболочкой по сравнению с наноконплексами (ПВП-Se)-ДМ. При этом ширина оболочки наноконплексов (ПВП-Se)-ДОКС увеличивалась с ростом концентрации Se. Таким образом, полученные данные могут послужить основой для дальнейшей разработки метода синтеза наноконплексов с целью создания лекарственных препаратов на основе модифицированных наночастицами антрациклиновых антибиотиков, обладающих низкой токсичностью по сравнению с исходными антибиотиками, с сохранением их биологической активности.

Список литературы: [1] *Kipper A.I., Borovikova L.N., Yakovlev I.V., Pисарев O.A.* Журнал прикладной химии. 91, 131 (2018).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЕТЕРОКОАГУЛЯЦИИ ЛАТЕКСОВ ПОЛИСТИРОЛА В РАСТВОРАХ С РАЗНОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ЭЛЕКТРОЛИТА

Кибирев М.А.¹, Федоренко М.Д.¹, Алексеева А.К.¹, Друян Л.М.¹, Кони́на М.Д.¹,
Широкова И.Ю.¹, Кучук В.И.¹, Шевченко Н.Н.²

¹Санкт-Петербургский химико-фармацевтический университет,
г. Санкт-Петербург

²Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург

Гетерокоагуляция, процесс взаимной коагуляции различных по природе, заряду или величине частиц, распространён очень широко, но по-прежнему недостаточно изучен. Сложность состоит как в выборе моделей исследования, так и в методах изучения агрегативной устойчивости.

Цель работы состояла в исследовании процесса гетерокоагуляции противоположно заряженных латексов полистирола в присутствии NaCl.

В качестве объектов были выбраны моодисперсные полимерные сферические карбоксилированные ($a = 0.23$ мкм, $\zeta = -50$ мВ) и аминированные ($a = 0.21$ мкм, $\zeta = +15$ мВ) частицы [1]. Поверхностные функциональные группы обеспечивали отрицательный и положительный заряд частиц в условиях эксперимента. Изучение систем проводилось в присутствии индифферентного электролита (NaCl) с концентрацией 10^{-3} и 10^{-2} моль/л $pH_{\text{ест}}$ (~6).

Знак и величину заряда определяли методом динамического светорассеяния. Изучение кинетики коагуляции при выбранных условиях проводили методами спектротурбидиметрии [2] Наблюдение вели в течение 5 часов с момента сливания объектов вместе. Данные представлены в виде зависимости оптической плотности от времени.

Процесс потери устойчивости наблюдается в течение первого часа наблюдения, далее значения размера частиц достигают максимальных значений, и незначительно уменьшаются со временем, предположительно, за счёт седиментации самых крупных агрегатов.

Список литературы:

[1] В. А. Байгильдин, Г. А. Панкова, Т. Г. Евсеева, А.Ю. Меньшикова, Н. Н. Шевченко. Коллоидный журнал. **77**, 9 (2015).

[2] Кленин В.И., Щеголев С.Ю., Лаврушин В.И. Характеристические функции светорассеяния дисперсных систем. Саратов, издательство Саратовского университета, (1977).

Благодарности

Исследованные полимеры были синтезированы в лаборатории полимерных материалов для биотехнологии и медицины ИВС РАН. Авторы выражают благодарность старшему научному сотруднику лаборатории Н.Н. Шевченко.

НАНОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИНОКИСЛОТ В КАЧЕСТВЕ СИСТЕМ ДОСТАВКИ ПРОТИВООПУХОЛЕВОГО АНТИБИОТИКА ДОКСОРУБИЦИНА

Сударева Н.Н.^{1,2}, Коржикова-Влах Е.Г.¹, Тарасенко И.И.¹, Колбе К.А.¹, Суслов Д.Н.³

¹Институт высокомолекулярных соединений РАН, СПб, Россия

²Первый Санкт-Петербургский гос. медицинский университет им. акад. Павлова

³Национальный мед. исследовательский центр онкологии им. Петрова, СПб

kkolbe@yandex.ru

Высокая эффективность противоопухолевого антибиотика ДОХ сопровождается высокой скоростью его выведения из организма и существенной кардиотоксичностью. Для повышения эффективности терапии и минимизации побочных эффектов предложено использование наночастиц на основе полиаминокислот в качестве систем доставки (СД) доксорубицина (ДОХ). СД представляли собой два варианта полимерных наночастиц, сформированных на основе статистического сополимера L-глутаминовой кислоты и L-фенилаланина – p(Glu-co-Phe) (4/1, mol/mol) и блоксополимера L-серина и L-глутаминовой кислоты: pSer-b-pGlu (1/1, mol/mol). Методом просвечивающей электронной микроскопии определены размеры как обоих типов пустых наночастиц, так и содержащих ДОХ. Определены профили высвобождения ДОХ в плазму из обоих носителей. Показано, что СД+ДОХ обеспечивают пролонгированное высвобождение ДОХ, позволяя ему находиться в крови после введения СД+ДОХ до 2-3-х недель. Увеличение загрузки носителей лекарством втрое увеличивало скорость его высвобождения в плазму на 40%. *Ex Vivo* оценка токсичности СД, содержащих ДОХ в диапазоне концентраций от 0.5 до 10 мкг/мл, по отношению к клеткам линии MCF7 (аденокарцинома грудных желез) показала, что после 4 дней контакта клеточный индекс приближался к нулю для обоих типов носителей при содержании ДОХ, равном 1 мкг/мл. При этом цитотоксичность наночастиц без ДОХ отсутствовала вплоть до концентрации равной 1000 мкг/мл. В экспериментах *in vivo* использовали трансгенных мышей линии FVB/N. Самцам перевиты опухолевые клетки от самок с раком грудных желез. Основная цель экспериментов *in vivo* – определение условий введения СД ДОХ (концентрация препарата, количество введений и способ введения – внутрибрюшинно или подкожно), при которых удастся добиться максимальной продолжительности жизни животного, при максимальном торможении роста опухоли и морфологических показателей, свидетельствующих и минимальных проявлениях токсичности. В одном из удачных экспериментов при двукратном (с интервалом в 3 недели) подкожном (в холку) введении по 5 мг ДОХ на мышью получены следующие показатели: средний срок жизни у контрольной группы (без введения RF-4+ДОХ) 59 дней, тогда как применение ДОХ+СД увеличивало срок жизни мышей до 81 дня. Торможение роста опухоли составило 65%. Морфологические исследования показали, что вакуольная дистрофия – результат токсичности препарата ДОХ – отсутствует. У леченых мышей метастаз не выявлено. Таким образом, системы доставки ДОХ на основе полиаминокислотных наночастиц обладают необходимыми ингибирующим действием и эффективно контролируют рост опухолей у трансгенных мышей FVB/N.

ГИБРИДНЫЕ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ГИДРОГЕЛЕЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ОТХОДОВ БУМАЖНОЙ МАССЫ

Котельникова Н.Е.¹, Власова Е.Н.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург
nkotel@mail.ru*

Исследования антибактериальных адсорбционных комплексов и композитов на основе целлюлозы, ее производных и материалов имеют длинную историю, но не теряют актуальность до настоящего времени. Применение целлюлозы в биомедицине и фармацевтике основано на ее широком распространении в природе, экологической безвредности, биосовместимости. Применение гидрогелей (ГГ) на основе целлюлозы открыло новые возможности ее более широкого использования в качестве регенеративного материала при заживлении ран. Развитая пористая структура, высокие сорбционная способность и удельная поверхность, совместимость с мягкими тканями способствуют использованию ГГ для вышеуказанных целей. Ранее нами были синтезированы и изучены свойства ГГ, полученных из целлюлозных волокон различного природного происхождения, а также выделенных из бумажной макулатуры [1], и показана возможность их использования как основы для создания материалов с антибактериальными свойствами. В развитие этих исследований впервые было проведено изучение введения антисептика Хлоргексидина биглюконата (ХГБ), широко используемого при обработке раневых поверхностей для создания вокруг них антисептических зон, в ГГ, выделенные из бумажной макулатуры. ГГ представляли собой объемные полупрозрачные набухшие диски, сохраняющие форму и прочность в воде. Разработаны экспериментальные условия диффузионной адсорбции ХГБ, изучена кинетика адсорбции и его высвобождение из ГГ в окружающую водную среду при принудительной диффузии. Показано, что количество сорбированного ХГБ зависит от его концентрации в исходном растворе и времени сорбции. Максимальное количество сорбированного ХГБ составило 1.1 г/г лиофильно высушенного ГГ, что соизмеримо с результатами аналогичных экспериментов, проведенных на химически сшитых ГГ целлюлозы [2]. При выделении ХГБ из адсорбционных комплексов показано, что оно происходит в значительной степени, но не превышает 55 вес.% от веса адсорбированного ХГБ. Это является важным фактором, показывающим, что при использовании адсорбционных ГГ в медицинских экспериментах вероятно пролонгированное действие антисептика. Предварительные испытания антимикробных свойств адсорбционных комплексов ГГ из бумажной массы и ХГБ по отношению к *Staphylococcus aureus* выявило их активность, что свидетельствует о перспективности их использования как функциональных антисептических материалов.

Список литературы:

- [1] Kotelnikova N.E., Mikhailidi A.M., Martakova Y.V. Cellul. Chem. Technol. **50** (5-6), 545 (2016).
- [2] Levanic J., Poljansek I., Vek V., Narat M., Oven P. BioResources. **15**, 2 (2020).

РАНОЗАЖИВЛЯЮЩИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ОКИСЛЕННОЙ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ С НАНОЧАСТИЦАМИ ДИОКСИДА ЦЕРИЯ

Кузич А.А.¹, Огородников В.Э.¹, Бычковский П.М.¹, Гофман И.В.²,
Хрипунов А.К.², Смыслов Р.Ю.²

¹*Учебно-научно-производственное Республиканское унитарное предприятие
«Унитехпром БГУ», г. Минск*

²*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

Бактериальная целлюлоза (БЦ) широко используется в биомедицине. Предпринимаются попытки включить в состав БЦ различные вещества для придания полезных свойств. Так, например, наночастицы CeO_2 могут предотвращать многие заболевания, связанные с окислительным стрессом [1]. Проводили окисление БЦ 20 % раствором оксида азота (IV) в хлороформе в течение 8, 24 и 48 ч. Было выявлено, что увеличение времени окисления способствует возрастанию обменной емкости образцов окисленной БЦ (ОБЦ) [2]. Сорбцию наночастиц CeO_2 на ОБЦ проводили в течение 24 ч при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Исследовали высвобождение наночастиц CeO_2 из полимерной матрицы. Концентрацию наночастиц измеряли спектрофотометрически. Увеличение обменной емкости способствует высвобождению из образца большего количества наночастиц диоксида церия. Для лучшего понимания механизма высвобождения, полученные данные были проверены на соответствие модели Ритгера-Пеппаса [3]:

$$\frac{M_t}{M_\infty} = K_{RP} t^n$$

где M_t — количество вещества, выделившегося к моменту времени t ;

M_∞ — максимально выделившееся (равновесное) количество вещества;

K_{RP} — константа;

n — диффузионный коэффициент.

Для всех образцов ОБЦ значение диффузионного коэффициента было около 0,1. Это указывает на высвобождение вещества посредством нормальной диффузии, т.е. согласно закону Фика.

Таким образом, создан композиционный материал для пролонгированного высвобождения наночастиц диоксида церия, который совмещает в себе положительные качества как полимера-носителя — ОБЦ, так и наполнителя и может быть рассмотрен как перспективное ранозаживляющее покрытие.

Список литературы:

[1] *Gofman I.V. [et al.] Polymers* **13**, 1999 (2021).

[2] *Zimnitsky D.S., Yurkshovich T.L., Bychkovsky P.M. Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry* **42**, 4785 (2004).

[3] *Ritger P.L., Peppas N.A. J. Controlled Release* **5**, 23 (1987).

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АЛЬГИНАТОВ С ВОДОЙ

Курилова Н.М.¹, Сафронов А.П.¹

¹*Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург
nadyakurilova98@yandex.ru*

Альгинаты – полисахариды, которые состоят из 1,4-связанных остатков β-D-маннуроновой кислоты и α-L-гулууроновой кислоты. За счет своего природного происхождения, биосовместимости, отсутствия токсичности альгинаты применяют в пищевой промышленности, медицине и биотехнологии. Альгинаты используются в виде водных растворов и гелей, свойства которых в значительной мере определяются характером гидратации полимера. Вследствие этого, целью работы являлось исследование термодинамических характеристик взаимодействия альгинатов с водой.

Объектами исследования являлись альгинат натрия (NaAlg) в виде пленки и порошка фирмы SigmaAldrich, молекулярная масса которого составляла 190 кДа, и альгинат кальция (CaAlg) в виде высушенного геля. Пленки альгината натрия были приготовлены путем полива из 1% водного раствора альгината натрия с последующим высушиванием до постоянной массы при 298 К. Гель альгината кальция получали путем гелеобразования 5% водного раствора альгината натрия в присутствии 0.1 М водного раствора хлорида кальция. Для дальнейших исследований полученный гель сушили при температуре 343 К.

Объемным сорбционным методом с использованием автоматического анализатора удельной пористости и поверхности ASAP 2020 фирмы Micromeritics изучена сорбция паров воды NaAlg и CaAlg. Из полученных данных были построены изотермы сорбции, которые представляют собой S-образные кривые с выпуклым начальным участком. На основании полученных изотерм сорбции рассчитаны изменения химических потенциалов воды, альгинатов и средние удельные значения энергии Гиббса взаимодействия альгинатов с водой.

С помощью микрокалориметра типа Тиана – Кальве марки ДАК-1-1 были определены энтальпии взаимодействия альгината натрия в виде порошка и пленки с водой, энтальпии разбавления его заранее приготовленных водных растворов разной концентрации – от 5 до 95 % (вес.) альгината натрия в растворе, а также энтальпии взаимодействия альгината кальция в виде геля и энтальпии разбавления его заранее приготовленных водных растворов. На основании экспериментальных данных были построены концентрационные зависимости энтальпии разбавления растворов альгината натрия и энтальпии набухания гелей альгината кальция в воде.

С помощью термодинамического моделирования были оценены вклады невалентных межмолекулярных взаимодействий, разрушения неравновесной стеклообразной структуры и диссоциации ионизированных звеньев в процессе разбавления раствора.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант 20-12-00031).

МЕТОД ТОНКОСЛОЙНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ ДЛЯ АНАЛИЗА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Малахова И.И.¹, Сантурян Ю.Г.¹, Красиков В.Д.¹, Панарин Е.Ф.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург
iimalahova@mail.ru*

Поливинилпирролидон (ПВП) и другие поли-N-виниламиды используются в медицинской практике с 40-х годов прошлого века. Гомо- и сополимеры N-виниламинов нашли широкое применение в качестве носителей биологически активных веществ (БАВ) в различных лекарственных средствах.

Последние десятилетия охарактеризовались получением на основе этих водорастворимых сополимеров новых эффективных препаратов, обладающих пролонгированным действием и высоким терапевтическим индексом при более низкой токсичности. В настоящее время синтезирован целый класс синтетических полимерных веществ, проявляющих противовирусную, антимикробную, противоопухолевую, иммуностимулирующую и другие виды активности.

Серьезной проблемой при получении таких полимеров является подбор метода оперативного аналитического постадийного контроля на ключевых стадиях производства. Таким методом может являться метод высокоэффективной тонкослойной хроматографии (ВЭТСХ). Работа посвящена разработке контроля методом высокоэффективной планарной хроматографии ряда фармацевтических препаратов в процессе их производства, таких как, полифункциональные протвогриппозные полимерные производные ремантадина; полимерные комплексы с 1,4- и 6,3-лактонами Д-сахарной кислоты, обладающие противовирусной и противоопухолевой активностью; серебросодержащий антисептик повииаргол. В работе приведены ТСХ-анализы препаратов:

- «Повииаргол» - металл-полимерная композиция, содержащая высокодисперсное нуль-валентное серебро и поливинилпирролидон – определение остаточных ионов серебра в композиции.

- «Поглюкар» - комплекс сополимера винилпирролидона с виниламином (ВП)_n-(ВА)_m с 1,4- и 6,3-лактонами Д-сахарной кислоты – анализ остаточных мономеров при синтезе сополимера; анализ продуктов кислотного гидролиза при снятии формильной защиты сополимера; контроль полупродуктов при получении комплексов лактонов Д-глюконовой кислоты с сополимером.

- «Катапол» - полимерный комплекс диметил-бензилалкиламмония хлорида (соль четвертичного аммониевого основания) и N-винилпирролидона с кротоновой кислотой. Сополимер и его композиции с противовирусным препаратом Ремантадин (1 – метил – 1 адамантил – метиламина гидрохлорид) и антисептиком Катамин АБ (диметилбензилалкиламмония хлорид) – анализ в препарате содержания катапола и ремантадина.

Разработаны элюирующие системы, условия проведения анализа и детектирования, позволяющие не только разделить все компоненты сложных композиций, но и выполнить их количественное определение с достаточной степенью достоверности и воспроизводимости.

ГИДРОЛИЗ ВОЛОКОН ПОЛИЛАКТИДА, НАПОЛНЕННЫХ ЙОДИДОМ КАЛИЯ

Малык Б.В.^{1,2}, Хавпачев М.А.².

¹Московский физико-технический институт, г. Москва

²Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН
bogdanamalyk@yandex.ru

Одним из наиболее перспективных биоразлагаемых полимеров является алифатический сложный полиэфир на основе молочной кислоты – полилактид (ПЛ). Однако, применение этого полимера в медицине ограничено длительным сроком разложения. Таким образом, разработка подходов к созданию функциональных материалов на основе ПЛ с прогнозируемыми сроками разложения является актуальной задачей.

Наиболее перспективный подход к регулированию скорости разложения – введение в полимерную матрицу добавок, ускоряющих или замедляющих деструкцию. В качестве добавок неорганической природы, ускоряющих деструкцию, можно использовать молекулярный йод [1], обладающий, дополнительно, антибактериальными и рентгеноконтрастными свойствами, или прекурсоры йода (например, йодиды).

В данной работе волокна ПЛ (4032D “Nature Works”, Mw 137 кДа, дисперсность 1.97), наполненные йодидом калия, получали методом классического крейзинга путем прямого ориентационного растяжения изотропно-аморфных волокон в 35%-ном (насыщенном) водно-этанольном растворе соли. Установлено, что в процессе вытяжки из насыщенного раствора в крейзы проникает довольно много добавки – 32% мас. % (согласно результатам гравиметрического анализа). Структурно-морфологические исследования, проведенные с помощью метода сканирующей электронной микроскопии, показали, что в полиэфирной матрице присутствуют частицы йодида калия с размерами в диапазоне от 0.4 до 2.0 мкм. Особенности гидролитической деструкции полученных образцов изучали в натрий-фосфатном буфере PBS (10 mM Na₂HPO₄ + 0.15 M NaCl; pH 7.4) при 37 °C в течение 8 недель. На поверхности волокон с йодидом калия уже после первой недели появляются трещины, а в объеме – полости, в значительной степени снижается молекулярная масса (в сравнении с ненаполненными волокнами).

В работе установлено, что йодид калия, введенный в волокна методом крейзинга, выступает в качестве прекурсора молекулярного йода – ускорителя деструкции ПЛ.

Список литературы:

[1] *Khavpachev M., Trofimchuk E., Nikonorova N., Garina E., Moskvina M., Efimov A., Demina V., Bakirov A., Sedush N., Potselev V., Cherdyntseva T., Chvalun S. Macromol. Mater. Eng.* **305** (7), 2000163 (2020).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, тема FFSM-2022-0003.

КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИ- И ОЛИГОЛАКТИДА С КОВАЛЕНТНО СВЯЗАННЫМИ КЛОЗО-БОРАТАМИ

Матвиенко В.Д.^{1,2}, Никифоров А.А.¹, Гофман И.В.¹, Ключкин И.Н.³,
Жданов А.П.³, Жижин К.Ю.³ Коржилова-Влах Е.Г.¹, Степанова М.А.¹

¹Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет), г. Санкт-Петербург

³Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова

Российской академии наук, г. Москва

vdmatvienko@gmail.com

Бор-нейтронозахватная терапия (БНЗТ) является одним из перспективных методов лучевой терапии онкологических заболеваний. Данный метод может быть эффективен и безопасен для лечения радиорезистентных типов опухолей, таких как остеосаркома. Стандартная методика лечения данного заболевания включает химиотерапию и хирургическое удаление всех выявляемых опухолевых очагов, что в последствии может приводить к обширными костным дефектам. С данной точки зрения, создание резорбируемых борсодержащих костных имплантов может быть полезным для послеоперационного лечения остеосаркомы с целью предотвращения рецидивов и метастазирования в ближайшие ткани. Ранее нами были получены композиты биodeградируемых и биосовместимых полимеров, наполненные клозо-боратами (КБ) [1]. Однако высвобождение основного количества КБ из данных композитов протекает достаточно быстро, что позволяет проводить БНЗТ только в первое время после имплантации материала для удаления остатков опухоли и может быть недостаточным при необходимости борьбы с отложенным рецидивом. В связи с этим разработка биоразлагаемых композиционных материалов с пролонгированным высвобождением КБ является актуальной задачей. Обеспечить такое высвобождение возможно за счет ковалентного связывания КБ с полимерной матрицей.

Таким образом, в ходе данной работы были синтезированы олигомеры лактида, содержащие 10 % масс. ковалентно связанных КБ (ОЛА-КБ) с M_n 6 300 и PDI 1.1. Для этого были использованы КБ $(\text{Bu}_4\text{N})[\text{V}_{10}\text{H}_9\text{NHC}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{NHCH}_2\text{CHON}(\text{CH}_2\text{OH})]$ и $(\text{Bu}_4\text{N})[\text{V}_{10}\text{H}_9\text{NHC}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{NHCH}(\text{CH}_2\text{OH})_2]$, содержащие реакционноспособные гидроксильные группы, благодаря которым они могут выступать в качестве инициаторов полимеризации с раскрытием цикла лактида. С использованием полученных ОЛА-КБ и высокомолекулярного полилактида (ПЛА) с M_w 150 000 и PDI 2.1 в качестве наполнителя и матрицы, соответственно, был изготовлен ряд композиционных изделий. Исследуемые ОЛА-КБ были охарактеризованы методами ИК- и ЯМР-спектроскопии. Молекулярно-массовые характеристики ПЛА и ОЛА-КБ были изучены с помощью ГПХ. Для композиционных изделий были исследованы их механические свойства.

Список литературы:

[1] *Stepanova M.A., Dobrodumov A.V., Averianov I.V., Gofman I.V., Nashchekina J.A., Guryanov I.A., Klyukin I.N., Zhdanov A.P., Korzhikova-Vlakh E.G., Zhizhin K.Y. Polymers. 14, 3864 (2022).*

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОЧЕТОЧНИКОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОСПИННИНГА В РЕКОНСТРУКТИВНОЙ УРОЛОГИИ

Мельник Е.Ю.², Мартынов Г.А.¹, Лозовский М.С.¹, Большасов Е.Н.² Бощенко В.С.¹, Маспанов Д.А.¹

¹ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации. г. Томск

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет
eum13@tpu.ru

Синтетические полимеры широко применяются в медицине, однако применяются не во всех разделах медицины, в том числе с использованием синтетических полимеров в реконструктивной урологии. В связи с чем существует необходимость в изучении синтетических полимеров как имплантаты в реконструктивной урологии при протяженных стриктурах [1].

В настоящей работе представлены два вида мочеточников на основе политетрафторэтилена изготовленные методом электроспиннинга, по которым в течение 14 дней циркулировал биологический материал, рисунок 1.

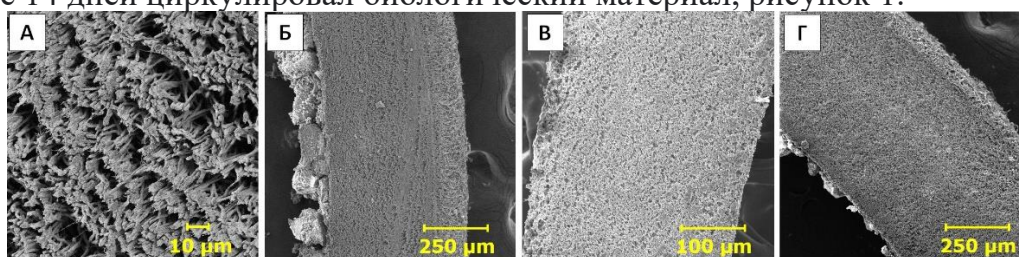


Рис. 1. СЭМ-изображения поперечного сечения мочеточников на основе ПТФЭ в зависимости от поверхностной пористости: А – контроль пористого образца мочеточника,

Б – пористый образец мочеточника после 14 дней циркулирования жидкого

биологического материала, В – контроль гладкого образца мочеточника, Г – гладкий образец мочеточника после 14 дней циркулирования жидкого биологического материала. Анализ морфологической структуры мочеточников на основе политетрафторэтилена показал, что пористые образцы, обладающие большим значением поверхностной пористости и диаметром волокон предрасположены к инкрустации солей при многочисленном прохождении биологического материала, в отличие от гладких образцов.

Политетрафторэтилен является перспективным материалом в реконструктивной урологии на основании проявленных во время исследования свойств: сохранение герметичности при взаимодействии с жидким биологическим материалом, а также низкой степени инкрустации.

Список литературы:

[1] Melnik E. et al. Effect of heat treatments and aggressive media on mechanical properties of porous polytetrafluoroethylene membranes fabricated via electrospinning. Journal of Fluorine Chemistry, **264**, 110062 (2022).

Благодарности

Работа выполнена в рамках реализации проекта Приоритет-2030-НИП/ИЗ-127-375-2023.

КОМПОЗИТНЫЕ КРИОГЕЛИ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И ПОЛИ(3-ОКСИМАСЛЯННОЙ КИСЛОТЫ), ПОЛУЧЕННЫЕ В СРЕДЕ ОБЩЕГО РАСТВОРИТЕЛЯ

Мичуров Д.А.¹, Лозинский В.И.¹

¹*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова
Российской Академии Наук, г. Москва
Dmitriial7.8@gmail.com*

Криогели поливинилового спирта (ПВС) – это макропористые гелевые системы, сформированные в результате замораживания-оттаивания растворов данного полимера. Благодаря нетоксичности, хорошей биосовместимости и высокой упругости, эти материалы нашли широкое применение в медико-биологических областях [1,2]. Также большой интерес представляют и различные композиционные материалы на основе криогелей ПВС.

В данном исследовании была продемонстрирована возможность получения композитных криогелей, исходя из смешанных растворов ПВС и поли(3-оксималянной кислоты) (ПОМК) в диметилсульфоксиде (ДМСО). Упругость таких криогелей возрастала с повышением концентраций как ПВС, так и ПОМК в исходном растворе, а после замены ДМСО на воду в образцах они становились еще более жесткими. С помощью оптической и сканирующей электронной микроскопии было обнаружено, что ПОМК в процессе замены растворителя преципитирует и образует дискретную фазу, включенную в непрерывную фазу криогеля ПВС, что и способствует существенному повышению модуля упругости образцов. Этот эффект обусловлен более высокой жесткостью дискретной фазы по сравнению с непрерывной фазой, а также хорошей совместимостью этих двух фаз. В целях изучения возможности применения полученных композитных криогелей в качестве систем доставки лекарств, образцы были насыщены натриевой солью ибупрофена. Исследования кинетических профилей высвобождения лекарственного вещества из ненаполненных и композитных криогелей ПВС показали, что наличие дискретной фазы ПОМК в образцах приводит к замедлению релиза натриевой соли ибупрофена. Таким образом, композитные криогели ПВС/ПОМК могут рассматриваться как перспективные кандидаты в качестве носителей для систем доставки лекарств пролонгированного действия.

Список литературы:

- [1] *Gajra, B., Pandya, S.S., Vidyasagar, G., Rabari, H., Dedania, R.R., Rao, S.* International Journal of Pharmaceutical Research **4** (2), 20 (2012).
[2] *Lozinsky, V.I.* Gels **6** (3), 29 (2020).

ПОЛИМЕРНО-БЕЛКОВЫЕ КОНЬЮГАТЫ НА ОСНОВЕ ЦИТОХРОМА С МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Мкртчян. С.С.^{1,2}, Семивеличенко Е.Д.³, Ивкин Д.Ю.³, Красиков В.Д.¹, Еремин А.В.¹

¹Институт высокомолекулярных соединений Российской Академии Наук,
г. Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный университет технологический
институт (технический Университет), г. Санкт-Петербург

³Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический
университет, г. Санкт-Петербург
sergey02072001@gmail.com

С момента начала использования в 1990 г первого фармпрепарата основанного на конъюгате «белок-полимер», системы из синтетических или природных полимеров с привитыми биомолекулами все шире используются в фармацевтике, материаловедении и биологии [1]. При этом биогрибридные системы на основе ферментов часто демонстрируют большую активность и стабильность (относительно микробиологической и протеолитической деградации, автолизиса или агрегации), в т.ч. и конформационную [2] по сравнению с чисто белковыми фармпрепаратами, и могут быть использованы, как их эффективная замена.

В настоящей работе были получены и исследованы методами ИК-, электронной спектроскопии, динамического светорассеяния и гель-проникающей хроматографии полимерно-белковые системы на базе цитохрома *c* (Cyt *c*) и полимеров, производных поли-*N*-винилпирролидона (PVP): 1. частично гидролизованного PVP - HPVP и 2. сополимера *N*-винилпирролидона с кротоновой кислотой - PVP-КК, как основы фармпрепаратов лечения и терапии ран склеры глаза и катаракты. Конъюгаты Cyt *c* с полимерами были получены с образцами HPVP и PVP-КК, содержащими 4 и 9% мольн. карбоксилатных фрагментов, соответственно, методом амидного каплинга (EDC, PBS pH 7.0, 30 °C) в водном растворе, очищены от непрореагировавшего фермента, диализованы и лиофилизированы. Сохранение ферментативной активности Cyt *c* в составе конъюгатов было подтверждено исследованием кинетики модельной реакции окисления бензидина пероксидом водорода: конъюгаты Cyt *c*-HPVP и Cyt *c*-PVP-КК показали большую каталитическую активность, чем чистый Cyt *c*.

Первичные биологические исследования *in vivo* образцов фармпрепаратов на основе конъюгатов Cyt *c*-HPVP и Cyt *c*-PVP-КК и гидрогелей ПВП ($M_w 10^6$) – ПЭГ-400, содержащих 0,25 % масс. Cyt *c*, в пересчете на индивидуальное вещество, показало их эффективность в процессах заживления механических и химических травм склеры глаза относительно аналогичных образцов, содержащих чистый фермент.

Список литературы:

[1] Chen C., Yuen D., Weila T. Polymer bioconjugates: Modern design concepts toward precision hybrid materials. Progress in Polymer Science, **105** (2020).

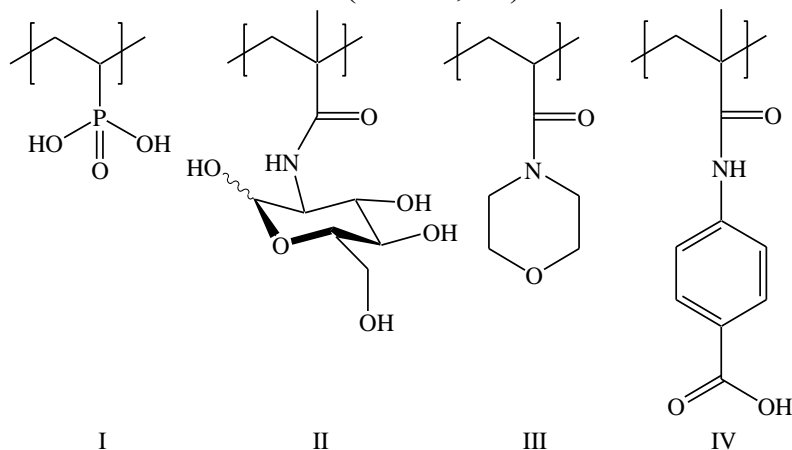
[2] Klibanov, A. M. Enzyme stabilization by immobilization. Analytical Biochemistry, **93** (1979).

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ СОПОЛИМЕРЫ ВИНИЛФОСФОНОВОЙ КИСЛОТЫ И ИХ ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ С ИОНАМИ ЛАНТАНОИДОВ

Назарова О.В.¹, Некрасова Т.Н.¹, Фишер А.И.¹, Золотова Ю.И.¹, Нестерова Н.А.¹,
Добродумов А.В.¹, Безрукова М.А.¹, Шуваева О.Д.¹, Панарин Е.Ф.¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
высокомолекулярных соединений российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия

Полимеры винилфосфоновой кислоты (ВФК) обладают антимикробной и противовирусной активностью, перспективны для использования в инженерии костной ткани, применяются в качестве антикоррозионных покрытий, компонентов полимерных мембран, зубоврачебных цементов, способны связывать катионы металлов различной природы. В работе методом свободно-радикальной сополимеризации получены новые водорастворимые сополимеры ВФК (I) с 2-деокси-2-метакриламидо-*D*-глюкозой (II), 4-акрилоилморфолином (III), *p*-метакрилоиламинобензойной кислотой (МABК; IV).



Состав сополимеров определяли методами ¹H и ³¹P ЯМР спектроскопии с использованием внутреннего фосфорсодержащего стандарта, а также методом УФ-спектроскопии. Значения молекулярной массы (ММ) были получены методами седиментации и диффузии. Разработаны условия синтеза сополимеров, содержащих 5-95 мол. % звеньев ВФК с молекулярной массой (7-310)•10³. Установлено, что все синтезированные сополимеры ВФК образуют комплексы с ионами тербия и европия. Комплексы указанных лантаноидов с сополимерами ВФК-МABК интенсивно люминесцируют в разбавленных водных растворах (10⁻⁴ – 10⁻⁵ М ионов металла). Показано, что интенсивность люминесценции комплексов зависит от состава сополимера и констант связывания ионов металла. Синтезированные сополимеры обладают высокой противовирусной активностью в отношении вируса гриппа A/Puerto Rico/8/34 (H1N1) и их люминесцирующие комплексы перспективны для визуализации взаимодействия сополимеров с вирусами и клетками.

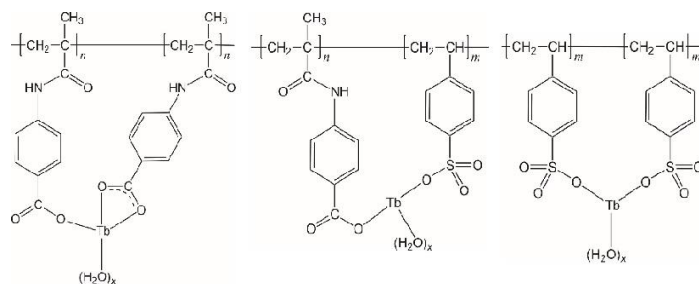
ДИЗАЙН БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ЛИГАНДОВ И ИХ ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ С ИОНАМИ ТЕРБИЯ

Нестерова Н.А.¹, Некрасова Т.Н.¹, Фишер А.И.¹, Гаршнина А.В.²,
Шуваева О.Д.¹, Захарова Н.В.¹, Панарин Е.Ф.¹

¹Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург

²ФГБУ «НИИ гриппа им. А.А. Смородинцева» Минздрава России,
г. Санкт-Петербург
lab.2305@mail.com

Методом радикальной сополимеризации синтезированы водорастворимые сополимеры метакрилоил-*para*-амидобензойной кислоты (МАБК) с нейтральными сомономерами *N*-винилпирролидоном (ВП), *N*-метил-*N*-винилацетамидом (МВАА), метакрилоиламидоглюкозой (МАГ) и анионным сомономером стиролсульфонатом натрия (СС). Исследовано взаимодействие синтезированных сополимеров с ионами Tb³⁺ в водных растворах и установлено существенное влияние химического строения сомономера на интенсивность люминесценции комплексов Tb³⁺ с сополимерами.



Комплексы Tb³⁺ с сополимерами *N*-виниламидов ВП и МВАА люминесцируют в 3 раза интенсивнее, чем комплексы сополимеров с МАГ. Сделано предположение, что в сополимерах ВП-МАБК и МВАА-МАБК молекулы воды, расположенные вблизи амидных карбонильных групп С=О и прочно связанные водородными связями, частично входят в координационную сферу Tb³⁺, способствуя усилению люминесценции. В комплексах МАБК с анионными сомономерами интенсивность люминесценции определяется конкуренцией двух параметров: констант связывания ионов Tb³⁺ и концентрацией МАБК в сополимере.

Синтезированные гомо- и сополимеры, а также комплекс сополимера СС-МАБК с Tb³⁺, обладают низкой (или умеренной) цитотоксичностью, демонстрируют выраженную противовирусную активность в отношении респираторно-синцитиального вируса человека (штамм А2), характеризуются высоким химиотерапевтическим индексом и представляют перспективный класс веществ для углубленного изучения и создания на их основе противовирусных лекарственных средств.

КОНЬЮГАТЫ ПРЕДНИЗОЛОНА С ХИТОЗАНОМ

Новикова В.П.¹, Дубашинская Н.В.¹, Скорик Ю.А.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
kerchuk7000@gmail.com*

Глюкокортикориды (ГК) представляют собой класс стероидных гормональных лекарственных средств с широким спектром биологической активности, включая сильный противовоспалительный эффект. ГК чрезвычайно эффективны для лечения хронических воспалительных заболеваний, однако высокая системная токсичность и необходимость длительного курсового применения ограничивают их медицинское использование. Конъюгация ГК с природными полисахаридами обеспечивает их контролируемое высвобождение и адресную доставку, тем самым уменьшая дозировку и выраженность побочных эффектов [1]. Задачей данного исследования было синтезировать конъюгаты синтетического ГК преднизолонa с хитозаном и изучить их свойства.

Для получения конъюгатов использовали низкомолекулярный хитозан со средневязкостной молекулярной массой 15000 и степенью дезацетилирования 97%. Синтез конъюгатов включал две стадии: получение сукцинил-преднизолонa и его последующее конъюгирование с хитозаном методом карбодиимидной активации. В результате были получены амфифильные производные хитозана со степенями замещения преднизолоном от 1 до 3 мол.%. Конъюгаты обладали способностью к самосборке в водных растворах с образованием частиц с гидродинамическим диаметром 500–600 нм и ζ -потенциалом +(34–37) мВ. Изучение кинетики высвобождения преднизолонa из конъюгатов показало медленный релиз вследствие гидролиза сложноэфирных и/или амидных связей. При этом высвобождение в фосфатный солевой буферный раствор с рН 7.4 составило около 70% в течение одного месяца. Разработанные конъюгаты могут представлять интерес для разработки противовоспалительных препаратов с улучшенными биофармацевтическими свойствами.

Список литературы:

[1] *Dubashynskaya, N.V., Bokaty, A.N., Skorik, Y.A. Biomedicines, 9(4), 341 (2021).*

**ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ
НА СТРУКТУРУ НАНЕСЕННЫХ ПЛЕНОК ФОСФОЛИПИДОВ**

Панаева М.А.¹, Быков А.Г.¹

¹*Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург
mariyapanaeva512@gmail.com*

Легочный сурфактант является смесью липидов и белков, функция которой – поддерживать работоспособность легких [1]. Для создания синтетического аналога легочного сурфактанта необходимо исследовать механизмы и силы, за счет которых образуются белково-липидные комплексы, позволяющие поддерживать низкие значения поверхностного натяжения на поверхности альвеол. В данной работе для изучения взаимодействий между макромолекулами и липидами использовалась простая модельная система «полиэлектролит-липидный монослой». В качестве объектов исследования были взяты нанесенные пленки фосфолипидов, входящих в состав сурфактанта, на поверхности растворов положительно заряженных полиэлектролитов с разной степенью гидрофобности. С помощью метода осциллирующих барьеров определялся отклик поверхностного слоя на деформации растяжения-сжатия и величина динамической поверхностной упругости в условиях, приближенных к физиологическим [2]. Было показано, что поверхностно-активные макромолекулы оказывают незначительное влияние на свойства монослоя цвиттер-ионного фосфолипида дипальмитоил фосфатидилхолина (ДПФХ), составляющего основу легочного сурфактанта. В этом случае значения поверхностной упругости для нанесенного монослоя ДПФХ как в присутствии полиэлектролитов, так и в их отсутствии имели минимальные различия. Добавление в состав монослоя отрицательно заряженных липидов приводило к снижению поверхностной упругости в области поверхностных давлений 30–50 мН/м, а также к снижению поверхностного натяжения монослоя в растянутом состоянии. На основании полученных результатов было сделано предположение, что наличие гидрофобных и электростатических взаимодействий усиливает взаимодействия макромолекул полиэлектролита с монослоем фосфолипидов и может приводить к образованию комплексов в поверхностном слое.

Список литературы:

- [1] *Autilio C., Perez-Gil J. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* **104**, 343 (2018).
[2] *Bykov A.G., Milyaeva O.Y., Isakov N.A., Michailov A.V., Loglio G., Miller R., Noskov V.A. Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* **611**, 125851 (2021).

Благодарности

Исследования поддерживаются Российским Научным Фондом (грант No. 22-23-00235).

КОМПОЗИТЫ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ С ПОЛИСАХАРИДАМИ, СОДЕРЖАЩИЕ НАНОРАЗМЕРНЫЙ ОКСИД ЦЕРИЯ

Петрова В.А.¹, Гофман И.В.¹, Головкин А.С.², Мишанин А.И.², Дубашинская Н.В.¹, Якиманский А.В.¹, Скорик Ю.А.¹

¹Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

²Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова,
г. Санкт-Петербург
valentina_petrova_49@mail.ru

Полисахариды являются перспективными материалами для разработки тканеинженерных скаффолдов и раневых покрытий благодаря их совместимости с тканями человека, низкой токсичности и способности усиливать процессы регенерации. Среди полисахаридов особое место занимает бактериальная целлюлоза (БЦ) и композиты на ее основе, свойствами которых можно управлять в широком диапазоне. Для получения полимерных композитов на основе БЦ разработаны различные методы введения и закрепления полимеров в БЦ (адсорбция полимеров, мокрое формование БЦ, диспергирование БЦ в растворах полимеров, биосинтез БЦ в присутствии полимеров, а также комбинация этих методов). В данной работе нами получена новая биосовместимая нанокompозитная пленка на основе БЦ, наполненная противоположно заряженными полисахаридами (альгинат натрия и хитозан) и наночастицами оксида церия. Методика получения композита заключалась в последовательной пропитке прессованной БЦ водным раствором альгината натрия, содержащим наночастицы цитрат-стабилизированного оксида церия, и раствором хитозана в 1%-ой уксусной кислоте [1]. Наличие наночастиц оксида церия в матрице полисахаридного композита и взаимодействие наночастиц с полимерами изменило сетевую архитектуру композитной пленки, что привело к значительным изменениям свойств композита: увеличению механической жесткости, уменьшению степени плоскостной ориентации макроцепей бактериальной целлюлозы, увеличению гидрофильности и смещению процессов термоокислительной деструкции материала в низкотемпературную область. Последний эффект связан с окислительно-восстановительной активностью оксида церия (обратимые переходы между состояниями Ce^{4+} и Ce^{3+}). В равновесно-набухшем состоянии материал сохранял механическую прочность на уровне ~ 2 МПа. Результаты испытаний *in vitro* (культивирование мультипотентных мезенхимальных стволовых клеток) продемонстрировали хорошую цитосовместимость биокомпозитной пленки и высокий потенциал для использования в качестве тканеинженерных скаффолдов.

Список литературы:

[1] Petrova V.A., Gofman I.V., Golovkin A.S., Mishanin A.I., Dubashynskaya N.V., Khripunov A.K., Ivan'kova E.M., Vlasova E.N., Nikolaeva A.L., Baranchikov A.E., Skorik Y.A., Yakimansky A.V., Ivanov V.K. *Polymers*, **14** (22), 5001 (2022).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 22-13-00068).

МОРФОЛОГИЯ, СОРБЦИОННЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАБУХАЮЩИХ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И ПОЛИАКРИЛАМИДА

Розова Е.Ю.¹, Зоолшоев З.Ф.¹, Курындин И.С.¹, Сапрыкина Н.Н.¹, Ельяшевич Г.К.¹

¹Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург
rosova@hq.macro.ru

Гидрогели на основе природного полимера – хитозана – перспективные материалы для применения в медицине в качестве матриц с регулируемым пролонгированным высвобождением лекарственных форм благодаря их биосовместимости с мягкими тканями, открытой пористой структуре и высокой сорбционной способности. Биоактивные набухающие композиционные гидрогели на основе хитозана и полиакриламида (ПАА) в форме цилиндров и пленок были получены радикальной сополимеризацией акриламида, привитого на хитозан, со сшивающим агентом N,N'-метиленабисакриламидом. В качестве инициатора реакции использовали систему персульфат аммония - N,N,N',N'-тетраметилэтилендиами.

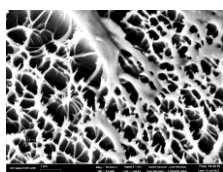


Рис.1 - ЭМ картины поверхности гидрогелей

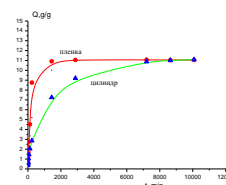


Рис. 2 - Кинетика набухания образцов в физиологическом растворе

Электронно-микроскопические исследования лиофильно высушенных образцов гидрогелей показали наличие развитой пористой структуры с размером пор от 700 до 2000 мкм (Рис.1). Набухание гидрогелей было изучено в физиологическом растворе с рН 7.1. Равновесная степень набухания Q для всех образцов была одинаковой (11 г/г), но пленки имели более высокую скорость набухания, чем цилиндры (Рис. 2). Механические характеристики набухших гидрогелей были определены в режиме одноосного сжатия для цилиндров и одноосного растяжения для пленок. Как видно в Таблице, пленки исследуемых гидрогелей обладают достаточно высоким уровнем прочности и эластичности.

Таблица – Механические характеристики гидрогелей хитозан/ПАА

Образец	Прочность, кПа	Модуль упругости, кПа	Деформация при разрушении, %
Пленка	37	57	88
Цилиндр	19	3	62

В качестве модельного лекарственного соединения в гидрогелевую пленку был инкорпорирован раствор гидрохлорида лидокаина (ГЛ). Кинетику высвобождения ГЛ в физиологический раствор определяли методом УФ-спектроскопии ($\lambda = 254$ нм) при 37⁰С. Результаты показывают для данных гидрогелей достаточно длительные сроки высвобождения ГЛ (порядка 5000 часов), что позволяет успешно использовать их для пролонгированного действия лекарственных соединений.

**СТРУКТУРНАЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ГИБРИДНОГО МАТЕРИАЛА
НА ОСНОВЕ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ
GLUCONACETOBACTER HANSENI GH-1/2008
И МИКРОКРИСТАЛЛОВ РИБОФЛАВИНА**

Ромашкин И.В.^{1,2}, Каримов Д.Н.¹, Архарова Н.А.¹, Громовых Т.И.^{1,2},
Клечковская В.В.¹

¹*Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН, ФНИЦ
«Кристаллография и фотоника» РАН, г. Москва*

²*ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва
romashk.in@yandex.ru*

Создание новых материалов с ранозаживляющими свойствами и возможностью контролируемой доставки биологически активного компонента является актуальной задачей в развитии современной медицины. Перспективным направлением разработки в данной области является создание массива биорезорбируемых микроигл, который способен безболезненно проникать в рану на заданную глубину и растворяться с высвобождением активного компонента. Для этой цели предлагается использовать сочетание таких компонентов как бактериальная целлюлоза (БЦ) и микрокристаллы рибофлавина (РФ). Бактериальная целлюлоза (БЦ) – нетоксичный биоразлагаемый материал, обладающий высокой степенью чистоты, прочности и эластичности. Трехмерная структура БЦ имитирует внеклеточный матрикс, что позволяет использовать ее в качестве биосовместимой матрицы для создания гибридных покровных материалов [1, 2]. Рибофлавин (РФ) представляет собой водорастворимый витамин группы В, необходимый для нормального роста клеток и проявляющий антимикробную активность. Кристаллы РФ имеют игольчатую форму перспективную для создания биорезорбируемого массива с возможностью регулирования размеров и ориентации микроигл в покровном материале [3]. Ожидается, что гибридный материал будет эффективно проникать в пораженные участки и способствовать активному восстановлению ткани благодаря антимикробной активности, абсорбции экссудата и поддержанию условий среды для повторной эпителизации раны. В данной работе методом спрей-пиролиза водного раствора РФ был получен гибридный материал БЦ/РФ на основе бактериальной целлюлозы – биополимера, продуцируемого штаммом бактерий *Glucanacetobacter hansenii* GH-1/2008. Исследованы структурные характеристики образца методами оптической, сканирующей электронной микроскопии и рентгеновской дифрактометрии.

Список литературы:

[1] Huang Y., Zhu C., Yang J., Nie Y., Sun D. Cellulose, **21**, 1 (2014). [2] Сковрцова З.Н., Громовых Т.И., Грачев В.С., Траскин В.Ю. Коллоидный журнал, **81**, 441 (2019). [3] Farah N., Chin V.K., Chong P.P., Lim W.F., Lim C.W., Basir R., Chang S.K., Lee T.Y. Current Research in Microbial Sciences, **10** (3), 100111 (2022).

Благодарности Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-29-00952 с использованием оборудования ЦКП ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА МЕДИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Селякова Д.Ю.¹, Москалюк О.А.¹

¹*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград
seliakova.smartex@yandex.ru*

В настоящее время разрабатывается и уже используется большое количество технологий нанесения биоцидных препаратов на поверхность или в структуру полимерных материалов. Как правило используются различные типы антимикробной обработки полимеров на основе покрытия неорганическими оксидами металлов. Самыми распространенными среди них являются микро/наночастицы Ag, Cu, TiO₂, ZnO, MgO, CuO и Cu₂O и др.

Особый интерес представляет нанесение наночастиц оксида меди(I). Материалы на основе меди надежны, потому что они борются не только против микробов, но и являются материалом, который наиболее эффективен против жизнеспособности патогенных вирусов, коронавируса в частности. Медь, ее ионы и сплавы продемонстрировали противовирусную, антибактериальную и противогрибковую активность в отношении широкого спектра патогенов.

Клетки бактерий и вирусов ведут себя и реагируют по-разному с частицами оксида меди. Комбинация этих физических и химических взаимодействий обуславливает антибактериальный эффект полимерных материалов. Наночастицы реагируют с клеточной стенкой бактерий посредством механизмов эндоцитоза. Металлическая частица захватывается бактериальной клеткой, внутри клетки она растворяется с высвобождением ионов. Большая внутриклеточная концентрация ионов в клетке вызывает сильный окислительный стресс у микроба. Наночастицы с высокой биоцидной активностью действуют более агрессивно и вызывают повреждение клетки.

Немаловажную роль играет предварительная обработка полимерных материалов перед нанесением антибактериального покрытия. Например, сенсбилизацию целлюлозы можно провести путем обработки материала лимонной кислотой. В теории, чем больше карбоксильных групп имеется на поверхности полимера, тем больше будет сайтов связывания наночастиц металлов [1].

Одно из первостепенных применений антибактериальных полимерных материалов – использование в среде здравоохранения в качестве текстиля для борьбы с внутрибольничными инфекциями [2].

Список литературы:

[1] *Shahid, M., Ali, A., Khaleeq, H. et al. Fibers Polymers* **22**, 3055 (2021).

[2] *Виноградова Н. А., Плеханова С. В., Плеханов А. Ф. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки*, **8**, 152 (2020).

Благодарность

Данное исследование было поддержано из средств программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» БФУ им. И. Канта.

ВЛИЯНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ ХИТОЗАНА НА СТРУКТУРУ ЕГО ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ С ФУКОИДАНОМ

Ситникова А.О.^{1,2}, Гасилова Е.Р.¹, Пошина Д.А.¹, Скорик Ю.А.¹

¹Институтвысокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург
alolsitn@gmail.com

Полиэлектродитные комплексы (ПЭК) противоположно заряженных полисахаридов перспективны в качестве биоактивных и биоразлагаемых инкапсулирующих агентов [1]. Особенно перспективны ПЭК сверхразветвленных полисахаридов с линейными, поскольку неоднородная структура сверхразветвленных полисахаридов способствует инкапсулированию [2]. В настоящей работе исследованы ПЭК линейных катионных хитозанов (Cs) с разветвленным отрицательно заряженным сульфатированным полисахаридом фукоиданом (FUC), выделенным из бурой водоросли *Fucus vesiculosus*. Хотя комплексы Cs с различными представителями семейства фукоиданов достаточно хорошо известны [3], особенностям образования ПЭК с разветвленными фукоиданами не уделялось внимания. Поэтому в данной работе методами многоугольного статического и динамического, а также электрофоретического рассеяния света была оценена разветвленная структура исходного FUC и исследованы его первичные ПЭК с хитозанами, имеющими одинаковую степень деацетилирования (97%), но разную молекулярную массу (15 и 165 KDa). Были исследованы зависимости ζ -потенциалов, радиусов инерции и гидродинамических радиусов ПЭК от состава комплексов. Показано, что наночастицы ПЭК испытывают сжатие при приближении к стехиометрическому отношению положительных и отрицательных зарядов полисахаридов. В водных ПЭК с Cs₁₅ ζ -потенциал менял знак от положительного до отрицательного с ростом доли FUC. Однако ζ -потенциал ПЭК с Cs₁₆₅ в 0.1M растворе уксусной кислоты оставался положительным при $18 \leq \text{FUC} \leq 90$ вес.%. Это свидетельствует о том, что Cs₁₆₅ образовывал оболочку вокруг разветвленных макромолекул FUC во всем изученном диапазоне составов.

Список литературы:

- [1] Lankalapalli S., Kolapalli V.R.M. Indian J. Pharm. Sci. **71**, 481, (2009).
[2] Stiriba S.E., Kautz H., Frey H. J. Am. Chem. Soc. **124**, 9698, (2002).
[3] Dubashynskaya N. V., Gasilova E.R., Skorik Y. Int. J. Mol. Sci. **24**, 2615 (2023).

Благодарности

Работа поддержана грантом РФФ и Спб_РФФ № 23-23-10005.

ПРОЦЕССЫ САМООРГАНИЗАЦИИ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ НА ОСНОВЕ ПРОСТЕЙШИХ АМИНОКИСЛОТ, НИТРАТА СЕРЕБРА И ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

Смирнова К.А.¹, Хижняк С.Д.¹, Пахомов П.М.¹

¹Тверской Государственный Университет, г.Тверь
shuhina.kseniya@yandex.ru

Самоорганизация лежит в основе получения большого количества динамичных, многокомпонентных систем из простых молекул. Использование простейших α -аминокислот может быть актуально для получения биосовместимых и биоразлагаемых медицинских материалов. Нами были синтезированы тиксотропные супрамолекулярные гели на основе L-цистеина и нитрата серебра, обладающие антибактериальными и фоточувствительными свойствами [1]. Были также получены системы на основе глицина и нитрата серебра. Полученный глицинсеребряный раствор (ГСР) обладает фоточувствительными свойствами, но, в отличие от цистеинсеребряного раствора (ЦСР), не образует супрамолекулярный гель. В медицинской практике бактерицидные средства часто используются в виде прочных бинтов, пленок и пластырей, поэтому для придания волоконно- и пленкообразующих свойств предлагается вводить в ЦСР и ГСР водорастворимый полимер. В качестве кандидата в настоящей работе был выбран наиболее доступный и биосовместимый поливиниловый спирт (ПВС). При введении ПВС в ЦСР и ГСР удалось значительно повысить вязкость растворов и получить прочные пленки, которые можно будет в дальнейшем использовать в реальных условиях: в качестве бактерицидных средств и в регенеративной медицине.

Целью настоящей работы является изучение процессов самоорганизации в ЦСР и ГСР под воздействием облучения (дневной свет и УФ излучение), их био- и фотоактивных свойств, а также получение пленочных материалов на основе ЦСР, ГСР и ПВС. Исследования проведены с помощью комплекса физико-химических методов: УФ спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия, динамическое светорассеяние. В ходе работы было обнаружено, что при экспонировании образцов пленок ЦСР+ПВС и ГСР+ПВС при дневном освещении или УФ облучении они желтеют и даже приобретают темно-коричневый цвет, то есть являются фоточувствительными. Стоит отметить, что изменение окраски в пленках ГСР+ПВС проходит быстрее и интенсивнее, чем в образцах ЦСР+ПВС. Комплексное исследование процессов, происходящих при облучении образцов показали, что изменение окраски связано с образованием наночастиц серебра (НЧС), обусловленное восстановлением металлической формы серебра из ионной.

Список литературы:

[1] Д. В. Вишневецкий, А. Н. Адамян, В. С. Лагушева, А. И. Иванова, С. Д. Хижняк, П. М. Пахомов. Высокомолекулярные соединения **61** (1), 82 (2021).

Благодарности

Данная работа выполнена на оборудовании лаборатории спектроскопии центра коллективного пользования ТвГУ.

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИКАПРОЛАКТОНА И МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ГРАФЕНОВ ОЛИГОМЕРАМИ ГЛУТАМИНОВОЙ КИСЛОТЫ

Соломаха О.А.¹, Степанова М.А.¹, Гофман И.В.¹, Рабчинский М.К.²,
Коржикова-Влах Е.Г.^{1,3}

¹*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург*

²*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург*

³*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии
solomanya@bk.ru*

Данная работа посвящена получению новых композиционных материалов на основе поли-ε-капролатона (ПКЛ) с различным содержанием модифицированных частиц аминированного и окисленного графенов (АГ и ОГ) олигомерами глутаминовой кислоты (АГ-ОГлу и ОГ-ОГлу), которые могут использоваться в качестве альтернативного подхода в костной пластике, основанной на применении искусственной матрицы специально разработанной для поддержания физической целостности и способствующей прорастанию кости зоне резекции или полости сформированной в результате патологического процесса. ПКЛ широко изучен для биомедицинских применений, ввиду своей нетоксичности, биосовместимости и способности биорезорбироваться в живом организме. Однако, материалы на основе данного полимера обеспечивают низкую клеточную адгезию и не обладают способностью индуцировать минерализацию. Получение композиционных полимерных материалов на основе ПКЛ с добавлением частиц АГ-ОГлу/ОГ-ОГлу позволит улучшить механические параметры материала и способствовать процессу направленной кальцификации. Полученные частицы были исследованы методами ИК-спектроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния (СКР), термогравиметрического анализа, динамического и электрофоретического рассеяния света и ВЭЖХ-анализа. На основе ПКЛ были изготовлены композиционные пленки с различным содержанием АГ-ОГлу и ОГ-ОГлу (0.5 и 1.0 масс%) и исследованы механические параметры на разрыв, морфология поверхности (оптическая и сканирующая электронная микроскопия), а также биологические свойства (МТТ-тест, адгезия и дифференцировка клеток). Кроме того, на основе ПКЛ и АГ-ОГлу были изготовлены 3D-печатные макропористые матрицы методом послойного наплавления и исследованы их механические свойства на сжатие. По результатам проведенных исследований можно заключить, что полученные материалы пригодны для альтернативного подхода в костной пластике для восстановления небольших дефектов трабекулярной кости благодаря подходящим механическим свойствам и направленной биоминерализации.

Благодарности

Исследования методом СКР были проведены в РЦ ОЛМИВ СПбГУ в рамках проекта Министерства образования и науки № 075-15-2021-637.

ТРЕХМЕРНЫЕ СУПЕРМАКРОПОРИСТЫЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ СКАФФОЛДЫ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ И ЛОКАЛЬНОЙ ПОСТОПЕРАЦИОННОЙ ТЕРАПИИ

Степанова М.¹, Добродумов А.¹, Гофман И.¹, Коржииков-Влах В.^{1,2}, Егорова Т.³, Демьянова Е.³, Рубинштейн А.⁴, Трулев А.⁴, Кудрявцев И.^{4,5}, Клюкин И.⁶, Жданов А.⁶, Жижин К.⁶, Коржиикова-Влах Е.¹

¹Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

²Институт химии, Санкт-Петербургский государственный университет

³Государственный научно-исследовательский институт особо чистых биопрепаратов ФМБА России, г. Санкт-Петербург

⁴Институт экспериментальной медицины, г. Санкт-Петербург

⁵Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

⁶Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук, г. Москва

maristepanova@gmail.com

Хирургические манипуляции по имплантации костнозамещающих материалов вызывают инфекционные и воспалительные процессы, которые требуют обязательной соответствующей постимплантационной терапии. В случае операций по удалению опухолей костных тканей для предотвращения рецидивов также возникает необходимость в последующей противоопухолевой терапии. Однако системный прием всех этих лекарственных средств (ЛС) наносит большой вред здоровым органам/тканям организма и зачастую не обеспечивает терапевтическую концентрацию препарата в требуемой зоне кости. Таким образом, использование содержащих ЛС имплантатов позволит решить данную проблему, обеспечивая локальную доставку ЛС и минимизируя побочные реакции. Целью данной работы являлось получение и изучение свойств ряда 3D-печатных биосовместимых и биоразлагаемых супермакропористых матриц - скаффолдов на основе поликапролактона (ПКЛ), содержащих в качестве наполнителя следующие ЛС: антибиотик широкого спектра действия – ципрофлоксацин (ЦФЦ), противовоспалительный препарат – дексаметазон (ДЕКС) или потенциальный противоопухолевый препарат для бор-нейтронозахватной терапии – клозо-борат. Для полученных материалов были исследованы морфология, механические свойства, биосовместимость (*in vitro*) и кинетика высвобождения препаратов в модельных условиях. Скаффолды ПКЛ-ЦФЦ и ПКЛ-ДЕКС продемонстрировали антибактериальную и противовоспалительную активность, соответственно. Кроме того, скаффолды ПКЛ-ДЕКС способствовали остеогенной дифференцировке мезенхимальных стволовых клеток. Проведенные исследования показали перспективность применения всех типов полученных скаффолдов для регенерации костной ткани и обеспечения необходимой концентрации ЛС в зоне имплантации.

Благодарности

Сканирующая электронная микроскопия была выполнена в РЦ «Нанотехнологии» Научного парка СПбГУ при поддержке Минобрнауки РФ (Мегагрант № 075-15-2021-637).

**СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ МАЛЫХ ИНТЕРФЕРИРУЮЩИХ РНК –
ИНГИБИТОРОВ ЭКСПРЕССИИ БЕЛКА ТЕПЛООВОГО ШОКА НА БАЗЕ
СУБМИКРОРАЗМЕРНЫХ ВАТЕРИТОВ КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ**

Сударева Н.Н.^{1,2}, Суворова О.М.², Сапрыкина Н.Н.², Шакирова А.И.¹,
Пятиизбянцев Т.А.¹, Лепик К.В.¹, Галибин О.В.¹, Моисеев И.С.¹

¹НИИ детской онкологии, гематологии и трансплантологии им. Р.М. Горбачёвой.
Первый Санкт-Петербургский гос. медицинский университет им. И.П. Павлова

²Институт высокомолекулярных соединений РАН, СПб, Россия
nnsas@mail.ru

Белки теплового шока (БТШ) представляют перспективную мишень для разработки противоопухолевых лекарственных препаратов. Для достижения терапевтического эффекта требуется селективное подавление отдельных типов этих белков, в частности, митохондриальных вариантов БТШ, которое может быть достигнуто с помощью РНК-интерференции. Карбонат кальция, особенно в форме ватеритов, давно используется в качестве систем доставки биологически активных веществ, в том числе и нуклеиновых кислот. Субмикро - размерные частицы карбоната кальция обладают не только высоким включением препаратов, они биодegradуемы, безопасны, имеют низкую стоимость. Данное исследование посвящено разработке протокола синтеза и применения частиц ватеритов карбоната кальция (ВКК) в качестве систем доставки РНК с целью ингибирования белков теплового шока. В модельном эксперименте включение РНК с молекулярной массой $MM = 1.07 \times 10^6$ Да (BioNTech, Германия) проводили методом соосаждения растворов $CaCl_2 \times 2H_2O$ (содержащих РНК) и Na_2CO_3 . Стандартная методика формирования ВКК [1] для обеспечения их субмикронных размеров была модифицирована, а именно: пошагово увеличивали концентрации солевых растворов, интенсивность их перемешивания, уменьшали температуру растворов и варьировали условия сушки. Для обеспечения стабильности РНК и стерильности малых объемов суспензий, содержащих комплексы ВКК+РНК, все компоненты процесса стерилизовали, растворы и суспензии держали во льду, а РНК-содержащие ВКК хранили при -80 °С. Контроль результатов синтеза ВКК проводили на базе данных СЭМ (Supra 55 VP, Carl Zeiss, Германия). Для определения включения РНК ее концентрацию фиксировали методом определения фотометрической абсорбции при длинах волн 260 нм и 280 нм на спектрофотометре Nano-500 (Allsheng, Китай). Согласно СЭМ-фото средние размеры комплексов ВКК+РНК, полученных в оптимальных условиях, составили 200 ± 70 нм. Включение РНК составило 100%. Профили высвобождения РНК в физиологический раствор (0.9% раствор NaCl) из комплексов ВКК+РНК, свидетельствуют о постепенном высвобождении 90% РНК из комплексов в течение 6 часов. Разработан протокол синтеза пористых наноразмерных ватеритов карбоната кальция и загрузки в них РНК, потенциально применимый для инкапсулирования малых интерферирующих РНК. Данные о скорости высвобождения РНК из комплексов ВКК+РНК позволят варьировать параметры трансфекции клеток при доставке малых интерферирующих РНК для ингибирования экспрессии белков теплового шока.

Список литературы:

[1] Volodkin D.V., Petrov A.I., Prevot M., Sukhorukov G.B. Langmuir, **20**, 3398 (2004).

МУЛЬТИЭЛЕМЕНТНЫЕ (БОР-, ГАДОЛИНИЙ)-СОДЕРЖАЩИЕ НАНОБИОКОМПОЗИТЫ ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ТЕРАНОСТИКИ

Сухов Б.Г.¹, Конькова Т.В.¹, Клушина Н.В.¹, Евсеев И.Д.^{1,2}, Ромащенко А.В.³

¹*Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского
Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск*

²*Новосибирский государственный университет, физический факультет,
г. Новосибирск*

³*Институт цитологии и генетики Сибирского отделения
Российской академии наук, г. Новосибирск
boris_sukhov@mail.ru*

Развивается методология синтеза биосовместимых гибридных неорганоганических нанобиокомпозитов, представляющих собой различные многоэлементные неорганические наночастицы (с комплексом нейтронозахватных, магнитных, фотоактивных и других свойств), инкапсулированные в макромолекулы бионацеливающих полимеров [1–10].

Синтезирован нанобиокомпозит с комплексом магнитных и нейтронозахватных свойств. Этот композит представляет собой наночастицы бората гадолиния, инкапсулированные в макромолекулы арабиногалактана лиственницы сибирской, которые могут проходить через гематоэнцефалический барьер. Таким образом, полученный нанокомпозит является перспективным средством многоканальной тераностики (магниторезонансной томографии с контрастным усилением, нейтроностимулированной гамма-томографии, магнитной гипертермии, двухканальной бор-, гадолиниевой нейтронозахватной терапии), в том числе, опухолей головного мозга.

Список литературы:

- [1] *Shurygina I.A., Sukhov B.G. et al. Nanomed.: NBM. 7 (6), 827 (2011).*
- [2] *Lesnichaya M.V., Sukhov B.G. et al. Carbohydr. Polym. 175, 18 (2017).*
- [3] *Lesnichaya M.V., Shendrik R.Y. et al. J. Lumin. 211, 305 (2019).*
- [4] *Khutsishvili S.S., Tikhonov N.I. et al. J. Therm. Anal. Calorim. 137 (4), 1181 (2019).*
- [5] *Aleksandrova G.P., Lesnichaya M.V. et al. Envir. Res. 190, 109878 (2020).*
- [6] *Perfileva A.I., Nozhkina O.A. et al. Int. J. Mol. Sci. 22 (9), 4576 (2021).*
- [7] *Lesnichaya M.V., Sukhov B.G. et al. Coll. Surf. B: Biointerf. 197, 111381 (2021).*
- [8] *Perfileva A.I., Tsivileva O.M. et al. Nanomater. 11 (9), 2274 (2021).*
- [9] *Perfileva A.I., Graskova I.A. et al. Agronomy. 12 (6), 1281 (2022).*
- [10] *Abzaeva K.A., Sukhov B.G. et al. Int. J. Mol. Sci. 23 (18), 10963 (2022).*

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РЦНИ (грант 20-53-44002_Монг_a)

ПОЛИМЕРНЫЕ МИКРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ ФУКОИДАНА И НАНОВОЛОКОН ХИТИНА ДЛЯ МЕСТНОЙ ДОСТАВКИ МЕТРОНИДАЗОЛА

Устюхина И.С.¹, Петрова В.А.¹, Дубашинская Н.В.¹, Скорик Ю.А.¹

¹*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
irina.ustyukhina@bk.ru*

Создание биополимерной системы доставки на основе полисахаридов с активными функциональными группами – фукоидан (FUC) и частично дезацетилированный хитин (CNW) – дает возможность повысить эффективность местной доставки лекарственных веществ благодаря высокой мукоадгезии на поверхности слизистой, а также модифицированному профилю высвобождения. За счет электростатического взаимодействия между функциональными группами противоположно заряженных FUC и CNW происходит формирование полиэлектролитного комплекса в виде микрогеля, который является матрицей для загрузки антибактериального метронидазола (MET).

Рентгенодифрактограммы лиофильно высушенных микрогелей FUC-CNW с различным соотношением компонентов свидетельствует о преимущественном влиянии на структуру композита аморфной структуры фукоидана. Эксперимент по мукоадгезии показал, что различное соотношение компонентов системы оказывает влияние на свойства полученного микрогеля. Система, приготовленная в соотношении полимеров CNW:FUC=1:2, обладает улучшенными характеристиками по связыванию свободного муцина, а значит и лучше будет адсорбироваться на слизистой поверхности.

Высвобождение MET из биокompозитной матрицы в условиях воспаления (pH=4,5) характеризуется равномерным пролонгированным профилем. В среде с нейтральным pH=7,4 также наблюдалось пролонгированное и равномерное высвобождение антибактериального агента из полимерной матрицы, на основании чего мы можем сделать вывод о возможности применения полученной системы в физиологическом диапазоне pH.

Кинетика высвобождения MET в общем случае подчиняется второму закону диффузии Фика. Для оценки механизма высвобождения MET из подготовленных полимерных носителей были линеаризованы кумулятивные кривые высвобождения по следующим математическим моделям: Хигучи, Корсмейера-Пеппаса и Пеппаса-Сахлина. Результаты показали, что набухание и релаксация полимера являются наиболее важными факторами, определяющими характер высвобождения MET.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СМАЧИВАЕМОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ВОДОЙ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МЕМБРАН ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКИ ПОЛОСТИ РТА

Чернова У.В.¹, Большасов Е.Н.¹

¹*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск
chernova489@gmail.com*

Известно, что заживление открытых раневых дефектов слизистой оболочки полости рта затруднено из-за инфицирования и повторной травматизации, для эффективной регенерации слизистой оболочки полости рта необходимо «закрытие» раны. Для «закрытия» раны необходимо использовать биосовместимые материалы, обладающие высокими значениями механической прочности. Кроме этого, используемый материал должен обладать гидрофильной поверхностью для сорбции экссудата. Ранее были исследованы морфология и антимикробная активность фторсодержащих полимерных композитных мембран, изготовленных из сополимера винилиденфторида с тетрафторэтиленом (ВДФ-ТеФЭ), поливинилпирролидона (ПВП) и ванкомицина методом многоканального электроспиннинга [1]. В настоящем исследовании рассмотрены их механические свойства, а также смачивание поверхности полимерных композитных мембран водой.

Для приготовления мембран готовили прядильный раствор, содержащий 1 масс.% ванкомицина и 99 масс.% полимеров. Содержание полимеров – ВДФ-ТеФЭ/ПВП – варьировали от 100/0 до 50/50 масс.%, соответственно. Формирование композитных мембран осуществляли на установке многоканального электроспиннинга на вращающийся сборочный коллектор.

Поверхность композитных полимерных мембран всех типов плохо смачивается водой и проявляет гидрофобные свойства. При увеличении концентрации ПВП в соотношении полимерных материалов ВДФ-ТеФЭ/ПВП в составе полимерных мембран увеличения смачивания полимерных мембран водой не происходит. Все значения прочности композитных полимерных мембран статистически значимы и составляют 1,9–11,5 МПа, значения относительного удлинения – статистически значимы и составляют 93,1–179,8 %. При этом при увеличении концентрации ПВП в соотношении полимерных материалов ВДФ-ТеФЭ/ПВП в составе мембран значения прочности полимерных мембран увеличиваются, а относительного удлинения – уменьшаются.

Список литературы:

[1] *Чернова У. В., Большасов Е. Н., Немойкина А. Л.* Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения. Нальчик, **1**, 441 (2023).

Благодарности

Исследование структуры и свойств фторсодержащих полимерных композитных мембран выполнено в рамках проекта УМНИК № 18229ГУ/2022.

ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ КЛЕТОК

Шарикова Н.А.¹, Вдовиченко А.Ю.¹, Шариков Р.В.¹, Базылева К.Ю.^{1,2},
Григорьев Т.Е.^{1,2}

¹*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
г. Москва*

²*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
физический факультет, г. Москва
nata_glushkova@bk.ru*

В настоящее время композиционные материалы активно исследуются для применения в одной из самых популярных научных областей - регенеративной медицине. Новое поколение материалов должно не только выступать в качестве аналога внеклеточного матрикса, но и обеспечивать пролиферацию клеток. Для создания каркасов используются природные полимеры, например, хитозан, целлюлоза, коллаген и др, обладающие биосовместимостью и способные к биодegradации [1]. Среди наиболее перспективных методов, улучшающих регенерацию поврежденных тканей, является электростимуляция. В сочетании с электропроводящими матриксами такой метод способствует усилению клеточной адгезии и пролиферации клеток эпидермиса, остеоцитов, нейрональных, мышечных клеток [2].

В данной работе разработан метод получения высокопористых электропроводящих композиционных материалов на основе хитозана с добавлением частиц технического углерода, а также исследованы структурные, проводящие и механические характеристики композитов.

Композиционные материалы получали методом лиофилизации из 2% раствора хитозана с различным процентным соотношением технического углерода (ТУ). Структуру полученных композитов исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). По изображениям определяли средний размер пор и строили гистограммы распределения для каждого образца. Также исследовано влияние количества наполнителя на удельную площадь поверхности. Электропроводящие свойства изучали методом диэлектрической спектроскопии. В результате определили концентрацию ТУ, при которой происходит образование перколяционной сетки наполнителя. По результатам механических испытаний построены графики зависимости модуля Юнга и прочности от концентрации ТУ и определено оптимальное количество наполнителя.

Список литературы:

- [1] Marsudi M.A., Ariski R.T., Wibowo A., Cooper G., Barlian A., Rachmantyo R., Bartolo P.J. International Journal of Molecular Sciences **22** (21), 11543 (2021).
[2] Chen C., Bai X., Ding Y., Lee I. S. Biomaterials research **23**, 1 (2019).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 21-13-00321.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАНОВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БИОПОЛИМЕРОВ

Шариков Р.В.¹, Стрельцов Д.Р.^{1,2}

¹*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
г. Москва*

²*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,
г. Москва
Sharikov_RV@nrcki.ru*

Одними из наиболее интересных и перспективных природных полимеров для получения нетканых материалов являются рекомбинантные белки спидроины. Известно, что паутина обладает уникальными свойствами. Изменение аминокислотного состава спидроина позволяет изменять в широких пределах механические характеристики прядомого волокна, ударную прочность, адгезию при сохранении биосовместимости. Использование биохимических методов позволяет менять состав рекомбинантных белков спидроина и регулировать не только физико-механические свойства, но и сродство, и пролиферативную активность этих белков к различным клеткам при использовании этих материалов в качестве матриц в биомедицине, в том числе в регенеративной медицине [1]. Актуальными задачами в настоящее время являются получение нетканых материалов из рекомбинантных белков спидроинов различного состава, исследование эволюции их надмолекулярной структуры в различных растворителях, анализ влияния сдвиговых напряжений на организацию белковых молекул и свойства конечного материала, подбор оптимальных условий электроформования.

В данной работе были исследованы нетканые материалы, полученные методом электроформования из растворов рекомбинантных спидроинов rS1/9 и rS2/12 и нативного фиброина шелка [2]. Определение механических характеристик отдельных нановолокон на основе спидроина методом АСМ показало, что с увеличением диаметра волокна происходит резкое падение модуля упругости с последующим выходом на плато. В то время как модуль упругости волокон на основе фиброина был значительно ниже. Причем регулирование параметров формования способно также приводить к изменению механических характеристик. Уменьшение механической прочности волокон с ростом диаметра связано с преобразованием надмолекулярной организации белков в толще волокон, а отличие в прочности между фиброином шелка и спидроином вызвано разным аминокислотным составом. Таким образом, регулируя параметры, можно добиться получения материала с заданными свойствами под конкретные задачи.

Список литературы:

[1] Xu, L., Weatherbee-Martin, N., Liu, X. Q., Rainey, J. K. Small, **15**(12), 1805294 (2019). [2] Tenchurin, T. K., Sharikov, R. V., Belousov, S. I., Streltsov, D. R., Malakhov, S. N., Yastremsky, E. V., Chesnokov Y. M., Davydova L. I., Bogush V. G., Chvalun, S. N. Polymers, **15**(14), 3001 (2023).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке НИЦ «Курчатовский институт».

АЛЬГИНАТЫ КАК "ЗЕЛЕННЫЕ" НОСИТЕЛИ ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ ХИРАЛЬНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ КАТАЛИЗАТОРОВ

Шандыбо М.А.¹, Аниськин И.С.²

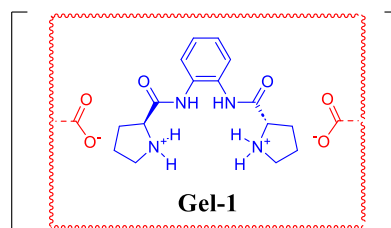
¹Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», факультет химии, г. Москва

²Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева, федеральный университет, г. Москва

Гомогенный катализ является успешным направлением современной химии. Однако, такие катализаторы практически невозможно регенерировать. В то же время гетерогенные катализаторы могут быть легко отделены от реакционной смеси. К сожалению, гетерогенные катализаторы имеют существенные недостатки, такие как неоднородность расположения активных центров в пространстве и неоднородность поверхности носителя.

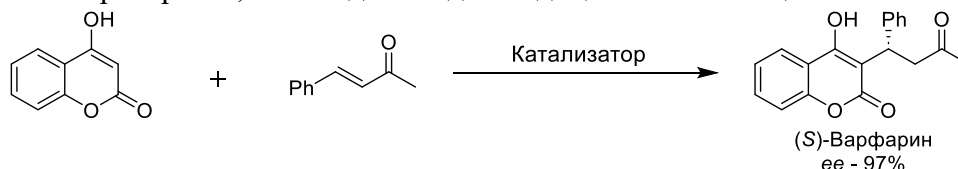
Это приводит к малой селективности и эффективности гетерогенного катализа, по сравнению с гомогенным [0]. Казалось, что проблема решается иммобилизацией гомогенных катализаторов на полимерных твёрдых носителях. Тем не менее, несмотря на многочисленные попытки решения этой задачи, в промышленности такие катализаторы практически не используются [0]. Причиной этого является высокая цена и недолговечность таких катализаторов.

Мы предлагаем новый тип иммобилизации гомогенных хиральных катализаторов, основанный на использовании доступных природных носителей без использования дорогих методик иммобилизации. В качестве носителя нами был выбран природный полисахарид, содержащий карбоксильные группы - альгиновая кислота. Это соединение производится в большом объеме и используется в пищевом производстве тысячами тонн. После чего, добавляя к нему каталитическую частицу, содержащую несколько основных аминогрупп, мы осуществим ионную иммобилизацию этого катализатора с образованием хирального гетерогенного каркаса **Gel-1**.



Gel-1 был получен простым смешиванием сухого криоструктурата альгиновой кислоты с каталитической частицей дипролинамида в среде *n*-бутанола.

Данный каркас был использован в качестве катализатора реакции получения лекарственного препарата варфарина, которое международный список жизненно важных лекарственных препаратов, необходимых для медицинской помощи.



Gel-1 показал высокую эффективность и селективность, что открывает широкий спектр возможностей получения новых лекарственных препаратов путем асимметрического гетерогенного катализа.

Список литературы:

[1] Gak, A., Kuznetsova. *Crystal Growth and Design*, **21**(11), 6364 (2021). [2] Hübner, S., de Vries, J. G., & Farina, V. *Advanced Synthesis & Catalysis*, **358**(1), 3 (2015).

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ
БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИМЕРОВ: СТРУКТУРА И СВОЙСТВА**

Якубова Л.Ю.¹, Подзорова М.В.^{1,2}, Тертышная Ю.В.^{1,2}, Селезнева Л.Д.^{1,2}

¹*Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, г. Москва*

²*Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля РАН, г. Москва
mariapdz@mail.ru*

В настоящее время существует серьезная озабоченность по поводу чрезмерного образования пластиковых отходов [1], не поддающихся биологическому разложению, что создает значительное загрязнение окружающей среды и другие связанные с этим проблемы. Одним из путей решения данной проблемы является применение биоразлагаемых полимеров, но биоразлагаемые полимеры имеют определенные недостатки в своих механических свойствах, технологичности и цене, что затрудняет конкуренцию с хорошо известными синтетическими полимерами, например полиолефинами. Наиболее простой стратегией преодоления этих недостатков является смешивание полимеров. Смешивание полимеров - эффективный и экономичный метод, позволяющий сочетать физико-химические, механические свойства исходных компонентов и их способность к разложению (благодаря взаимодействию между компонентами) [2, 3]. Например, композиционные материалы на основе полилактида (ПЛА) активно исследуются последние двадцать лет. ПЛА — это полиэфир, который характеризуется высоким модулем упругости и прочностью, хорошей прозрачностью, но обладает определённой хрупкостью, поэтому смешивание ПЛА с другими полимерами является наиболее перспективным и практичным способом изменения его физических свойств.

В работе исследовались композиционные пленочные материалы на основе ПЛА с добавкой полибутиленадипинаттерефталата (ПБАТ) и натурального каучука (НК) в количестве 10-20 мас. %. При добавлении ПБАТ в матрицу ПЛА отмечается изменение механических характеристик – увеличивается эластичность, а также на термограммах ДСК пик температуры холодной кристаллизации с добавлением ПБАТ смещается в сторону больших температур с 98 до 112 °С. Добавка НК способствует увеличению относительного удлинения на 6%, а также исчезает ярко выраженный пик холодной кристаллизации ПЛА, а пик температуры стеклования смещается в область высоких температур и становится шире. Благодаря разработке композиционных материалов на основе ПЛА с другим биоразлагаемыми материалами возможно регулировать определенные его свойства и тем самым расширять диапазон применения.

Список литературы:

- [1] *Lim B.K.H., Thian E.S. Sci. Total Environ.* **813**, 151880 (2022).
- [2] *Podzorova M. V., Tertyshnaya Yu. V., Pantyukhov P. V., Shibryaeva L. S., Popov A. A., Nikolaeva S. AIP Conference Proceedings* **1783**, 020185 (2016).
- [3] *Andrade J., Fernandez-Gonzalez V., Lopez-Mahía P., Muniategui S. Mar. Pollut. Bull.* **149**. 110663 (2019).

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ
ИНУЛИНА**

Рахмонбердиев Г.¹, Хусенов А.Ш.¹, Ибрагимова К.С.¹, Тилаков Ж.Р.¹

¹*Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан
khusenov_82@mail.ru*

Известно, что в настоящее время учеными большое внимание уделяется изучению растения топинамбур (земляная груша). Причиной столь особого внимания ученых к этому растению объясняется тем, что из клубней топинамбура получают инулин, заменитель инсулина, которого применяют при лечении сахарного диабета. Инулин $(C_6H_{10}O_5)_n$ -органическое вещество из группы полисахаридов, состоящее из остатков β -D-фруктозы, линейно связанных 2,1 - β связями.

С целью получения физиологически активного полимера на основе инулина, обладающего одновременно как сахаро-снижающим, так и противотуберкулёзным свойствами, нами были проведены исследования по окислению инулина йодной кислотой с последующем присоединением к окисленному инулину низкомолекулярного лекарственного препарата тубазида.

В ИК-спектрах окисленного инулина появляется новая полоса поглощения в области 1730 см^{-1} , относящиеся к альдегидной группе, интенсивность которой тем выше, чем более глубокому окислению были подвержены образцы инулина.

Реакцию присоединения тубазида к диальдегидинулину (ДАИ) проводили в слабокислой среде при $pH = 4,5$.

Было исследовано влияние степени окисления ДАИ на состав и молекулярные характеристики получаемых продуктов.

С увеличением степени окисления увеличивается число альдегидных групп в окисленном инулине, с одновременным понижением его молекулярной массы. Было отмечено, что в окисленном инулине, в отличие от другого полисахарида-целлюлозы, часть альдегидных групп у второго и третьего углеродного атомов не образуют с первичной гидроксильной группой полуацетальной связи и что две альдегидные группы являются свободными.

В ИК-спектре образцах инулина с тубазидом появляется новая полоса поглощения в области $1662-1666\text{ см}^{-1}$, доказывающие о наличии $-C=N-$ связи. Полоса в области 1730 см^{-1} , характерное для альдегидной группы окисленного инулина исчезает, что свидетельствует о протекании реакции нуклеофильного замещения.

Были проведены токсико-фармакологические исследования тубазидинулина. Было установлено, что тубазидинулин кроме сахаро-снижающим свойством, так же обладает пролонгированным противотуберкулёзным действием по сравнению с чистым тубазидом, что даёт возможность созданию лекарственных веществ нового поколения.

СЕКЦИЯ 4

ТЕОРИЯ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

АТОМИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРИЕНТАЦИИ ХРОМОФОРОВ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ ПММА В ПРИЛОЖЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Фоминых О.Д., Шарипова А.В., Балакина М.Ю.

*Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский
научный центр РАН
fod5@yandex.ru*

Одной из задач дизайна полимерных материалов с квадратичной нелинейно-оптической (НЛО) активностью является создание нецентросимметричного порядка хромофоров в полимерной матрице, необходимого для проявления эффекта. Атомистическое моделирование, в частности, молекулярная динамика (МД), позволяет разработать рекомендации по оптимизации протокола полинга, рассчитывать макроскопические свойства системы и изучать их микроскопическую основу. В настоящей работе исследовано влияние плотности композиционного материала на основе ПММА с D-π-A хромофорами-гостями (15 масс.%) и напряженности приложенного электрического поля, E , на эффективность ориентации хромофоров и полярных групп в полимерных цепях; хромофоры содержат дибутиланилиновый донорный и трицианофуранильный акцепторный фрагменты и дивинилхиноксалиновый π-электронный мостик [1]. Моделирование проводилось с использованием пакета программ Desmond [2]. Материалы упаковывались в аморфную ячейку (силовое поле OPLS4) с заданной плотностью; МД выполняли на заключительном этапе в течение 50 нс; E варьировалась от 100 до 1000 В/мкм. Моделирование ориентации проводилось при рассчитанной температуре стеклования, T_c , полимерного материала. Были рассчитаны значения центросимметричного, P_2 , и нецентросимметричного, $\langle \cos^3 \Theta_i \rangle$ (Θ_i – угол между направлением дипольного момента i -го хромофора и направлением приложенного поля), параметров порядка, причем отдельно оценивались вклады от хромофоров и полимерных цепей. В ходе моделирования материала с реальной плотностью (1.07 г/см³) в ансамбле NVT установлено, что значение параметра порядка растет с увеличением приложенного поля; значения P_2 согласуются с результатами измерений методом УФ-спектроскопии [2], а значение $\langle \cos^3 \Theta_i \rangle$ достигает ~0.16 при $E = 500$ В/мкм и вдвое увеличивается при 1000 В/мкм.

Список литературы:

- [1] Kalinin A.A., Sharipova S.M., Burganov T.I., Levitskaya A.I., Fominykh O.D., Vakhonina T.A., Ivanova N.V., Khamatgalimov A.R., Katsyuba S.A., Balakina M.Yu. Large nonlinear optical activity of chromophores with divinylquinoxaline conjugated π-bridge. *J. Photochem. Photobiol. A*, **370**, 58 (2019).
- [2] Schrödinger Release 2022-4: Desmond Molecular Dynamics System, D.E. Shaw Research, New York, NY, 2022. Maestro-Desmond Interoperability Tools, Schrödinger, NY, 2022.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 21-13-00206).

ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПЕРЕСТРОЕК НАМАГНИЧИВАЮЩИХСЯ ЧАСТИЦ НА ДЕФОРМАЦИЮ МАГНИТОАКТИВНЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Тощевиков В.П.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
toshchevnikov@imc.macro.ru*

Магнитоактивные эластомеры (МАЭ) представляют собой композиционные полимерные материалы, которые состоят из сшитой полимерной матрицы с внедренными намагничивающимися металлическими частицами. Эти материалы способны изменять свою форму и упругие свойства под воздействием магнитного поля и являлись предметом активных исследований на протяжении последних двух десятилетий [1-4].

В настоящей работе предложена теоретическая модель для исследования эффекта локальных пространственных перестроек намагничивающихся частиц и формирования упорядоченных структур под воздействием магнитного поля и влияния этого эффекта на деформацию МАЭ при приложении внешнего магнитного поля. Показано, что учет этого эффекта приводит к усилению величины деформации и изменения модуля упругости МАЭ при воздействии магнитного поля по сравнению с предсказаниями теории сплошной среды [3, 5]. Наиболее значительный вклад этого эффекта имеет место для более мягких материалов с низкими значениями их исходного модуля упругости. Для МАЭ с изотропным распределением магнитных частиц предложенная теория предсказывает растяжение эластомера вдоль магнитного поля при воздействии магнитного поля в соответствии с экспериментальными данными [4]. Результаты работы могут быть полезны для прогнозирования упругих свойств МАЭ при применении их в практических приложениях, где требуется управление механическими свойствами эластичных элементов с помощью магнитных полей.

Список литературы:

- [1] *Stepanov G. V., Abramchuk S. S., Grishin D. A., Nikitin L. V., Kramarenko E. Yu., Khokhlov A. R. Polymer* **48** (2), 488 (2007).
- [2] *Ivaneyko D., Toshchevikov V., Saphiannikova M., Heinrich G. Macromol. Theory Simul.* **20** (6), 411 (2011).
- [3] *Ivaneyko D., Toshchevikov V., Saphiannikova M., Heinrich G. Soft Matter* **10** (13), 2213 (2014).
- [4] *Romeis D., Kostrov S. A., Kramarenko E. Yu., Stepanov G. V., Shamonin M., Saphiannikova M. Soft Matter* **16**, 9047 (2020).
- [5] *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука. 2-е изд. 1982. - 621 с. (т. VIII).*

ВЛИЯНИЕ ЗАЦЕПЛЕНИЙ НА ПОЛУЧЕНИЕ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКОН

Петров А.И., Лелекова В.А., Рудяк В.Ю., Чертович А.В.

Федеральный исследовательский центр химической физики имени Н.Н. Семенова
РАН, Москва

Рассмотрен вопрос о формировании зацеплений по ходу полимеризации и последующему влиянию сетки зацеплений на спекание и формирование ориентированного полимерного волокна. При построении аналитических теорий и компьютерном моделировании мы ориентировались на сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) и получение ориентированных волокон «сухим» методом из спеченного расплава.

Синтез цепей СВМПЭ проводится в ходе осадительной гомогенной полимеризации с одновременной частичной кристаллизацией конденсированной фазы. На начальном этапе возможны два режима: 1) режим глобального коллапса, при котором синтез идет достаточно медленно, и каждая цепь формирует единую глобулу; 2) режим локального коллапса, при котором цепь растет достаточно быстро и формирует мелкие сколлапсированные блобы по ходу коллапса. После соприкосновения двух независимых цепей происходит агрегация и последующий рост сопровождается формированием зацеплений [1]. По мере изотермического спекания слабозацепленного расплава вблизи температуры кристаллизации образцы демонстрируют весьма необычное поведение, характерное для так-называемого полимерного энтропийного взрыва (chain explosion). При деформациях упругость СВМПЭ после начала режима текучести пропорциональна плотности зацеплений исходного расплава, которая действует аналогично сетке шивателей в полимерной резине. Достаточно длинные и зацепленные цепи при этом не распутываются и могут формировать высокоориентированные волокна. Чем меньше плотность зацеплений в подобных системах – тем более ориентированные и прочные волокна удастся получить. Однако, слишком редко зацепленные или недостаточно длинные цепи при достижении определенной деформации могут начать распутываться и не способны формировать прочные волокна. Простая скейлинговая теория подтверждает эти наблюдения: должна существовать некоторая определенная оптимальная степень запутывания, для получения наиболее ориентированных волокон [2].

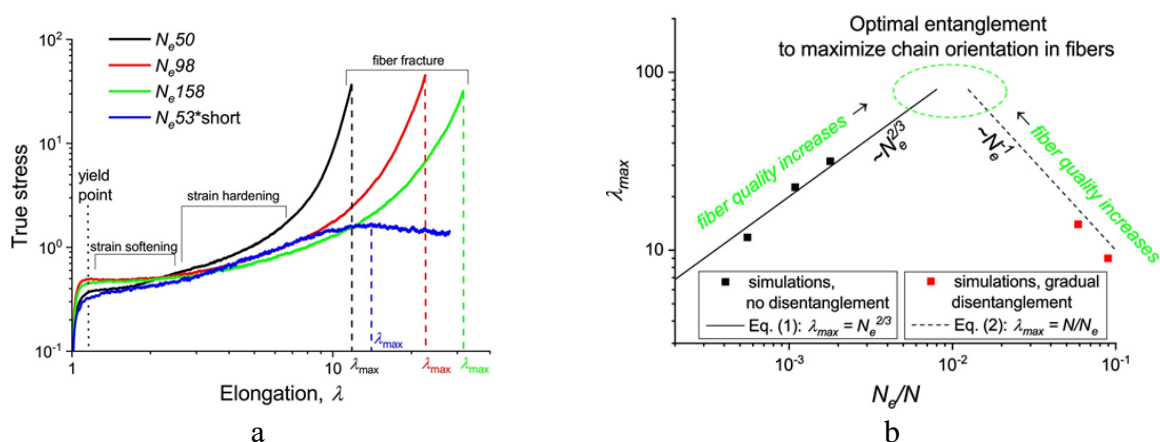


Рис. 1 - Напряжение как функция деформации λ (a), определение максимальной степени деформации (λ_{max}) как функции от количества зацеплений в расчете на цепь (b).

Список литературы:

[1] A. Petrov, P.Kos, V. Rudyak, A. Chertovich, *Macromolecules* 2020, 53, 16, 6796.

[2] A. Petrov, V. Rudyak, A. Chertovich, *Macromolecules* 2022, 55(15), 6493.

ВНУТРИМОЛЕКУЛЯРНАЯ ПОДВИЖНОСТЬ ПОЛИТРИЦИКЛОНОНЕНОВ. МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

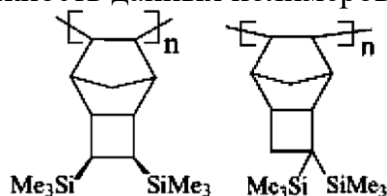
Худобин Р.В.¹, Мазо М.А.², Балабаев Н.К.³

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, г. Москва

²Израильский Технологический Институт, Хайфа, Израиль

³Институт математических проблем биологии РАН - филиал Федерального государственного учреждения Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук, Пушкино Московской обл.
rvhudobin@gmail.com

Несмотря на то, что газоразделительные полимерные мембраны активно используются в химической промышленности, полного понимания механизмов диффузии в полимерах пока нет. Распространено мнение, что диффузионные свойства полимерных мембран определяются в первую очередь наличием и распределением свободного объема и внутримолекулярной подвижностью полимера [2]. Предшествующие исследования [1,3] показали высокую долю молекулярного объема в политрициклононенах PTCNSi2v и PTCNSi2g (химическая структура представлена на рисунке ниже). А в данной работе, для более полной оценки диффузионных свойств, мы исследовали внутримолекулярную подвижность данных полимеров.



Внутримолекулярная подвижность оценивалась по амплитудам флуктуации угла внутреннего вращения основной цепи и по углу вращательной диффузии триметилсилильных групп. Дана качественная оценка подвижности основной цепи и показано влияние ближайшего окружения на вращательное поведение триметилсилильных групп.

Список литературы:

[1] Grinevich, Yu.; Starannikova, L.; Yampolskii, Yu.; Gringolts, M.; Finkelshtein, E. J. Membr. Sci. **378**, 250 (2011). [2] Gusev. A.A., Suter, U.W. J. Chern. Phys. **99** (3), 2228 (1999). [3] Mazo, M.; Balabaev, N.; Alentiev, A.; Yampolskii, Yu. Macromolecules **51**(4). 1398 (2018).

Благодарности

Исследование выполнено в рамках Программ фундаментальных научных исследований РФ (Госзадание FFZE-2022-0009, ФИЦ ХФ и Госзадание 122041100157-2, ФИЦ ИПМ). Вычислительные ресурсы предоставлены Межведомственным суперкомпьютерным центром РАН.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДВИЖНОСТИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ ПОЛИМЕРАХ С НАНОКРИСТАЛЛИТАМИ

Никитенко В.Р., Бурдаков Я.В., Саунина А.Ю.

*Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»,
г. Москва
VRNikitenko@mephi.ru*

Транспорт носителей заряда (электронов и дырок) является одним из ключевых физических процессов, определяющих функционирование фотовольтаических элементов, светодиодов и других устройств органической электроники. Активный слой обычно является достаточно тонким (50-100 нм). Некоторые органические материалы, например поли-3-гексилтиофен, содержат как аморфную фазу, так и наноразмерные области с уменьшенным беспорядком (кристаллиты) [1]. В данной работе проведено моделирование подвижности методом Монте-Карло (МК) в тонком двухфазном слое в зависимости от параметров морфологии, а также температуры.

Использована модель гауссова беспорядка [2]. Локализованные состояния (прыжковые центры) находятся в узлах кубической решётки и случайно распределены по энергии согласно двойной гауссовой функции. Доля узлов V образует нижний гауссиан (G2-центры), который сдвинут относительно верхнего (G1-центры, аморфная фаза, полуширина $\sigma_1=0.05$ эВ) вниз по энергии на величину E_t , образуя кристаллитную фазу. Перекрытие волновых функций G2-центров существенно больше, чем G1-центров, что даёт быстрый транспорт внутри кристаллитов и увеличивает частоту прыжков между кристаллитами. Модель имитирует естественный процесс роста кристаллитов, которые в итоге случайным образом распределены по размерам и позиции. Подвижность убывает с ростом толщины слоя вследствие влияния диффузии и беспорядка (мезоскопический эффект). Разработан метод экстраполяции, позволяющий получить "истинную" подвижность как характеристику материала. Показано, что подвижность имеет максимум при определённой величине E_t . Подвижность растёт с ростом объёмной доли кристаллитов, V , и может превышать подвижность в чисто аморфном материале на два порядка. Результаты работы позволяют оценить параметры структуры, при которых подвижность в слое данного материала максимальна.

Список литературы:

[1] Meier T., Bäessler H., Köhler A., *Adv. Optical Mater.* 2100115 (2021).

[2] Bäessler H., *Phys. Stat. Sol. B* 175, 15 (1993).

[3] Burdakov Ya. V., Saunina A. Yu., Bäessler H., Köhler A., and Nikitenko V. R., *Phys. Rev. B* 108, 085301 (2023).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФ, соглашение № 22-22-00612.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ АДсорбЦИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ СОПОЛИМЕРОВ НА РЕГУЛЯРНЫХ ХИМИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Полоцкий А.А., Иванова А.С.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
alexey.polotsky@gmail.com*

Адсорбция полимерных цепей на поверхностях и границах раздела фаз – явление, играющее важную роль в коллоидной химии, физико-химии поверхности и имеющее большое прикладное значение в хроматографии, модификации поверхностей, биотехнологии, создании полимерных нанокомпозитов и т.д. Случай, когда неоднородны и полимер, и поверхность, представляется наиболее интересным в свете влияния взаимосогласованности распределения мономерных звеньев в последовательности гетерополимера и расположения сайтов разных типов на поверхности на адсорбцию.

Доклад посвящен теоретическому изучению адсорбции одиночной макромолекулы случайного сополимера на химически гетерогенных поверхностях с регулярной периодической структурой [1, 2]. Исследования проводились с помощью частично направленных моделей полимера в двух [1] и трех [2] измерениях, допускающих точное решение задачи в рамках метода производящих функций.

Получены зависимости точки адсорбционного перехода от состава статистического сополимера и степени корреляции в случайной последовательности звеньев для разных периодических поверхностей. Показано, что для симметричных и слабо асимметричных по составу поверхностей существует «оптимальный» состав статистического сополимера и степени корреляции в последовательности звеньев, при которых обратная температура, отвечающая точке адсорбционного перехода, имеет локальный минимум. В случае поверхности симметричного состава, «оптимальный» случайный сополимер также симметричен по составу. На поверхностях с ярко выраженной асимметрией состава лучше всего адсорбируется гомополимер, комплементарный преобладающим сайтам на поверхности. Диапазон степени асимметрии, при которой у зависимости обратной температуры перехода от состава сополимера и параметра корреляции существует локальный минимум, довольно узкий.

Список литературы:

[1] *Ivanova A.S., Polotsky A.A. Phys. Rev. E* **106**, 034501 (2022).

[2] *Ivanova A.S., Polotsky A.A. Polym. Sci., Ser. C* (2023).

DOI: 10.1134/S1811238223700327

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-23-00531).

АТОМИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ДИЗАЙНЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С КВАДРАТИЧНОЙ НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Балакина М.Ю., Фоминых О.Д., Шарипова А.В., Левицкая А.И.

*Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский
научный центр РАН
mbalakina@yandex.ru*

Органические полимерные материалы, предназначенные для использования в оптоэлектронике, способны обеспечить высокий и стабильный во времени квадратичный нелинейно-оптический (НЛО) отклик, который формируется на молекулярном уровне за счет органических D- π -A хромофоров. Использование атомистического моделирования в дизайне таких материалов позволяет решать следующие важные задачи: определение оптимального содержания хромофоров и исследование однородности их распределения в материале; определение изолирующей способности заместителей в различных структурных единицах хромофоров (доноре, D, акцепторе, A, и π -электронном мостике) по наличию невалентных взаимодействий между хромофорами и фрагментами полимерной цепи; определение локальной подвижности участков полимерной цепи; оценка макроскопических характеристик материала – в первую очередь температуры стеклования; моделирование в приложенном электрическом поле позволяет оптимизировать температурно-временной протокол ориентирования, т.е. условия подготовки образцов к измерению квадратичной НЛО активности. Продемонстрировано решение этих задач при исследовании материалов на основе метакриловых сополимеров с хромофорами в боковой цепи [1] и композиционных полимерных материалов с различными хромофорами-гостями [2]; в обоих случаях использовались хромофоры с хиноксалиновыми фрагментами в π -электронном мостике. Атомистическое моделирование проводилось в аморфной ячейке (силовое поле OPLS4; программный комплекс Desmond [3]).

Список литературы:

- [1] *Vakhonina T.A., Fazleeva G.M., Kalinin A.A., Gaysin A.I., Shmelev A.G., ..., Balakina M.Yu.* Methacrylic copolymers with quinoxaline chromophores in the side chain exhibiting quadratic nonlinear optical response. *J. Appl. Polym. Sci.* **139**, e52745 (2022).
- [2] *Fominykh O.D., Kalinin A.A., Sharipova A.V., Levitskaya A.I., Balakina M.Yu.* The effect of various substituents in donor moiety on the aggregation of nonlinear-optical quinoxaline-based chromophores in composite polymer materials. *Comput. Mater. Sci.* **183**, 109900 (2020)
- [3] Schrödinger Release 2022-4: Desmond Molecular Dynamics System, D.E. Shaw Research, New York, NY, 2022. Maestro-Desmond Interoperability Tools, Schrödinger, NY, 2022.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 21-13-00206).

**ВЛИЯНИЕ ГИБКОСТИ СЕГМЕНТОВ НА НЕМАТИЧЕСКОЕ
УПОРЯДОЧЕНИЕ V-ОБРАЗНЫХ МАКРОМОЛЕКУЛ**Алиев М.А.

*Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук,
г. Москва
maaliev@deom.chph.ras.ru*

Нематическое упорядочение расплава V-образных макромолекул, образованных двумя полугибкими сегментами, соединенными под внешним углом α , исследовано в рамках теории Ландау фазовых переходов [1]. Каждый из сегментов состоит из одинакового количества мономерных звеньев, общее количество звеньев в молекуле есть N . Статистика сегментов описывается дискретной червеобразной моделью. Анизотропные взаимодействия в системе предполагаются в форме Майера-Заупе; параметр этого взаимодействия есть ω . Получено разложение свободной энергии Ландау-де Жена расплава V-образных молекул по степеням нематического ориентационного параметра порядка, коэффициенты данного разложения вычислены исходя из микроскопической модели макромолекулы. Найдено, что при достаточно высокой жесткости сегментов фазовая диаграмма в переменных $(\alpha-N\omega)$ содержит области стабильности изотропной (I), одноосевых (N_U^+ и N_U^-) и двухосевой (N_B) нематических фаз. Фазовые переходы из изотропной в одноосевые нематические фазы и из одноосевых в двухосевую нематическую фазу являются переходами первого и второго рода, соответственно. При уменьшении жесткости сегментов область стабильности двухосевой нематической фазы уменьшается; в определенном диапазоне значений угла α возможна возвратная двухосевая фаза в последовательности фазовых переходов $I - N_U^- - N_B - N_U^+ - N_B$. При достаточно низкой жесткости сегментов область устойчивости двухосевой фазы исчезает, фазовые диаграммы содержат переходы первого рода $I - N_U^+$, $I - N_U^-$, and $N_U^- - N_B - N_U^+$. При дальнейшем уменьшении жесткости остается лишь переход вида $I - N_U^+$. В определенных интервалах значений параметра жесткости сегментов на линии перехода $N_U^- - N_B$ существует трикритическая точка

Список литературы:

[1] *Aliev M.A. Journal of Molecular Liquids. 384, 122222 (2023).*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ РЕЛАКСАЦИИ РАСПЛАВОВ ДЕНДРИМЕРОВ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Шевелева Н.Н.,¹ Долгушев М.,² Комолкин А.В.,¹ Маркелов Д.А.¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.

²Университет Сорбонны, Лаборатория теоретической физики конденсированного состояния, Париж, Франция.

markeloved@gmail.com

Были исследованы расплавы полибутилкарбосилановых дендримеров (CSD) [1] и их функционализированный аналог (FD) [2], полипропиленминных (PPI) и полиамидоамидных (PAMAM) [3] дендримеров различных генераций с помощью молекулярно-динамического моделирования. Были получены и проанализированы временные ($G(t)$) и частотные зависимости ($G'(\omega)$ и $G''(\omega)$) динамического модуля. Установлено, что для всех типов дендримеров можно выделить три основных режима релаксации: (i) в области малых времен (высоких частот) упругая релаксация напряжения (tension relaxation), которая не зависит от размеров дендримера; (ii) в промежуточной области пульсационная подвижность ветвей (субветвей) дендримера, который зависит от числа генераций в дендримере; и (iii) релаксация, зависящий от подвижности дендримера как целого и/или междендримерного взаимодействия, в области больших времен (низких частот). В случае PPI дендримеров было получено хорошее согласие с имеющимися в литературе экспериментальными данными [4].

Для больших генераций дендримеров ($G \geq 4$) обнаружен эффект плотного окружения (crowded environment), который связан с междендримерными взаимодействиями и приводит к появлению в области где $G'(\omega) > G''(\omega)$. Данный эффект вызван наличием у дендримера плотного (непроницаемого) ядра, что, по всей видимости, приводит к поведению дендримера как коллоидной частицы. Эффект плотного окружения усиливается в случае FD по сравнению с CSD, так как FD содержат дополнительный сегмент в точках ветвления, что уменьшает степень взаимопроникновения дендримеров. В случае G4 PPI дендримера эффект плотного окружения отсутствует несмотря на то, что данный дендример имеет одинаковое число концевых групп и схожие размеры с G4 CSD и FD. Это вызвано тем, что топологическое ядро PPI дендримеров более объемное ($>N-C-C-N<$), чем у CSD ($>Si<$). Это и увеличивает степень взаимопроникновения дендримеров. Более того, в случае G5 PPI дендримеров непроницаемое ядро формируется, что приводит к появлению эффекта плотного окружения, аналогичного G4 CSD. Исследования данного эффекта для PAMAM дендримеров оказалось невозможным из-за наличия зацеплений между PAMAM дендримерами за счет водородных связей, что привело к существенному замедлению механической релаксации.

Список литературы: [1] *Dolgushev M., Markelov D.A., Lähderanta E. Macromolecules*, **52**, 2542 (2019). [2] *Sheveleva N., Dolgushev M., Lahderanta E., Markelov D. Phys. Chem. Chem. Phys.*, **24**, 13049 (2022). [3] *Sheveleva N.N., Komolkin A.V., Markelov D.A. Polymers*, **15**, 833 (2023). [4] *Hofmann M., Gainaru C., Cetinkaya B., Valiullin R., Fatkullin N., Rössler E.A. Macromolecules*, **48**, 7521 (2015).

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАЗВОРАЧИВАНИЯ МАКРОМОЛЕКУЛЫ
АМФИФИЛЬНОГО ГРЕБНЕОБРАЗНОГО СОПОЛИМЕРА**

Иванова А.С., Михайлов И.В., Полоцкий А.А., Даринский А.А., Борисов О.В.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
sasinaas@yandex.ru*

Работа посвящена теоретическому изучению механического разворачивания макромолекулы амфифильного гребнеобразного сополимера с сольвофильной основной цепью и сольвофобными боковыми цепями в селективном растворителе. Рассматривалась одиночная макромолекула с фиксированной длиной основной цепи при варьировании в широком диапазоне длины и плотности прививки боковых цепей, а также качества растворителя для боковых цепей (параметр Флори взаимодействия полимер - растворитель χ варьировали от 1 до 2 для боковых цепей, для основной цепи $\chi = 0$ - атермический растворитель). В условиях плохого растворителя для боковых цепей такая макромолекула формирует унимолекулярную мицеллу с ядром из сольвофобных боковых цепей и «коронай» из участков растворимой основной цепи. Моделирование растяжения макромолекулы проводили в рамках метода самосогласованного поля Схойтенса-Флира. Было показано, что при фиксированной длине боковых цепей характер кривых деформации существенным образом зависит от плотности прививки. Редко привитые гребнеобразные макромолекулы во всем диапазоне χ и более густо привитые гребнеобразные макромолекулы в «умеренно плохом» растворителе не образуют унимолекулярную мицеллу, и их деформационное поведение полностью определяется растяжением основной цепи. В сильном осадителе в случае плотной прививки боковых цепей амфифильная гребнеобразная макромолекула образует унимолекулярную мицеллу сферической формы с плотным ядром из боковых цепей и растворимой короной из участков основной цепи. В этих условиях на кривых деформации наблюдаются три режима: 1 - начальный рост силы, отвечающий деформации унимолекулярной мицеллы как целого; 2 - рост силы при больших деформациях, который соответствует растяжению основной цепи; 3 - режим квази-плато, когда в макромолекуле происходит микрофазовое разделение, и в равновесии сосуществуют глобулярная «голова» и растянутый «хвост». В случае плотной прививки и сильного эффективного притяжения боковых цепей друг к другу этот участок имеет осциллирующий «пилообразный» вид. Это связано с формированием на «хвосте» кластеров из одной или нескольких боковых цепей.

Наряду с методом самосогласованного поля для исследования растяжения макромолекулы гребнеобразного сополимера был применен метод броуновской динамики для континуальной крупнозернистой модели молекулярной щётки. Получены зависимости общего количества кластеров, числа звеньев боковых цепей в большой мицелле/«голове» и среднего агрегационного числа.

Благодарности Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 23-13-00174).

СРАВНЕНИЕ КОГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ КОМПЛЕКСОВ КОЛЬЦЕВЫХ И ЛИНЕЙНЫХ ПЕПТИДОВ С ПАВ: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Жолудев С.И., Петровский В.С., Потемкин И.И.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, г. Москва, Россия
zholudev@polly.phys.msu.ru

Поиск полимерных систем, эффективно связывающих биологические ткани и способствующих ускорению заживления ран, является актуальной задачей науки о полимерах. Неудовлетворенность существующими решениями данной проблемы связана с широким набором требований, выдвигаемым к подобным материалам для возможности клинического применения [1-2]. Изучение подходящих адгезивов, выделенных из морских организмов, вдохновило на поиск комплексов, состоящих из противоположно заряженных цепей и включающих полипептиды, близкие по аминокислотной составу к природным белкам. Таким, например, является подобный эластину, заряженный полипептид со структурой -Val-Pro-Gly-X-Gly, где X - лизин или валин [3]. Для образования комплекса могут использоваться противоположно заряженные поверхностно-активные вещества (ПАВ), например, додецилбензолсульфонат натрия. Недавние эксперименты подтверждают наличие вдохновляющих адгезионных свойств комплексов сверхзаряженных несвернутых полипептидов (СНП) с поверхностно-активными веществами [4].

Основной целью данной работы является сравнение когезионных свойств комплексов кольцевых и линейных полипептидов с ПАВ, обладающих упомянутой выше структурой, в растворе. В работе рассматриваются полипептидные цепочки трёх длин. Исследование систем осуществляется путём полноатомного компьютерного моделирования при помощи пакета программ GROMACS. Изучается структура и взаимное расположение фрагментов агрегата из пяти полипептидных цепей и стехиометрического количества ПАВ, а также проводятся силовые эксперименты по вытяжке одиночных цепей из комплекса для определения зависимости когезионных свойств от топологии и длины цепей.

Список литературы:

- [1] Moad G., Rizzardo E., Thang S.H. Accounts of chemical research **41** (9), 1133 (2008).
- [2] Lee H., Lee B.P., Messersmith P.B. Nature **448** (7151), 338 (2007).
- [3] Ma C., Malessa A., Boersma A. J., Liu, K., Herrmann, A. Advanced Materials. **32** (20), 1905309 (2020).
- [4] Ma C., Sun J., Li B., Feng Y., Sun Y., Xiang L., et al. Nature Communications **12** (1), 3613 (2021).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-43-04417. Моделирование проводилось на суперкомпьютере Ломоносов 2 суперкомпьютерного комплекса Московского государственного университета.

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ
МЕМБРАНЫ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ПОЛИ-М-
ФЕНИЛЕНИЗОФТАЛАМИДА, МОДИФИЦИРОВАННОЙ
НАНОЧАСТИЦЕЙ UiO-66 (NH₂) MOF, ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСИ
ТОЛУОЛ/МЕТАНОЛ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ [1]**

Базайкин В.Я., Комолкин А.В., Маркелов Д.А.

*Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия
vbazaikin@icloud.com*

На сегодняшний день для разделения жидких смесей, трудно разделяемых методом первапорации (например толуол/метанола), широко используются мембраны на основе полимерных композиционных материалов. В данной работе с помощью метода молекулярной динамики (МД) с полным атомистическим разрешением были исследованы диффузионные и равновесные свойства метанола и толуола внутри полимерной мембраны поли-м-фениленизофталамид (ПМФА) с и без добавления наночастицы UiO-66 (NH₂) MOF.

Были смоделированы 2 системы: первая включала цепочки ПМФА и растворители, вторая отличалась от первой наличием наночастицы MOF. Длины использованных траекторий были микросекундными, что является новизной.

Было обнаружено, что часть молекул толуола собрались в кластеры (2-10 молекул) внутри полимерной матрицы, кроме того, молекулы внедрялись в MOF и образовывали T-конфигурацию, характерную для кристаллического бензола. Трансляционная подвижность молекул толуола ограничивалась движением внутри кластеров. Принципиально другое поведение показали молекулы метанола, которые были равномерно распределены по всей полимерной мембране. Было показано, что молекулы метанола могут свободно проникать через всю мембрану, а также что наличие MOF ускоряет их подвижность.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности использования наночастицы MOF в полимерной матрице ПМФА для разделения смеси толуол/метанол. Результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными [2].

Список литературы:

[1] V.Y. Bazaikin, A.V. Komolkin, D.A. Markelov, *Journal of Molecular Liquids* **383** (2023) 122188.

[2] A.V. Penkova, A.I. Kuzminova, M.E. Dmitrenko, V.A. Surkova, V.P. Liamin, D.A. Markelov, A.V. Komolkin, D.Y. Poloneeva, A.V. Laptenkova, A.A. Selyutin, A.S. Mazur, A.V. Emeline, S. Thomas, S.S. Ermakov, *Separation and Purification Technology* **263** (2021) 118370.

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО РАСТЯЖЕНИЯ НА ТЕПЛОПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА АМОРФНЫХ И ЧАСТИЧНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИИМИДОВ: АТОМИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Назарычев В.М., Люлин С.В.

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Россия
nazarychev@imc.macro.ru*

В последнее десятилетие повышение теплопроводности полимерных материалов стало одним из приоритетных направлений научных исследований [1]. В частности, это связано с развитием технологий производства термоинтерфейсных материалов (ТИМ) и применением их в электронных устройствах, где необходимо эффективно передавать тепло. В качестве полимерного связующего для ТИМ могут использоваться полиимиды (ПИ), которые обладают прекрасными теплофизическими, диэлектрическими, механическими свойствами, а также хорошей радиационной стойкостью. Тем не менее их коэффициент теплопроводности κ достаточно мал и лежит в диапазоне от ~ 0.1 до ~ 0.5 Вт/(м·К) [1].

Целью данной работы является исследование влияния одноосного растяжения на теплопроводящие свойства термопластичных ПИ методом атомистического компьютерного моделирования. Для проведения исследования были выбраны три термопластичных ПИ: два частично-кристаллических – ВРДА-Р3 и Р-ОДФО и один аморфный – ULTEM™. Образцы каждого типа ПИ были подвергнуты одноосной деформации, после чего была проведена оценка влияния растяжения образцов на значения их коэффициента теплопроводности. В результате было установлено [2], что при одноосной деформации теплопроводность термопластичных ПИ может значительно повышаться без изменения диэлектрических свойств материала. Наши исследования показали, что коэффициент теплопроводности анизотропен в различных направлениях относительно оси деформации и демонстрирует значительное увеличение как у частично-кристаллических, так и у аморфных ПИ в направлении, параллельном деформации. Этот эффект может быть использован для разработки новых ТИМ с улучшенными теплопроводящими свойствами.

Список литературы:

[1] *Chen J., Chen X., Meng F., Li D., Tian X., Wang Z., Zhou Z.* High Perform. Polym., **29**, 585 (2016).

[2] *Nazarychev V.M., Lyulin S.V.* Polymers. **15**, 2926 (2023).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (Соглашение № 22-73-00288, <https://rscf.ru/project/22-73-00288/>).

БИСТАБИЛЬНОСТЬ И СПОНТАННАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ СПИРАЛЕОБРАЗНЫХ ПИРИДИН-ФУРАНОВЫХ ОЛИГОМЕРОВ НАНОМЕТРОВОГО РАЗМЕРА

Фролкина М.А.

*Федеральный Исследовательский Центр Химической Физики им. Н.Н. Семёнова
Российской Академии Наук, Москва, Россия
Центр Проектирования Молекулярных Машин, Москва, Россия
mariair@yandex.ru*

Конструирование бистабильных динамических систем нанометрового масштаба представляет большой интерес, поскольку они могут быть использованы как триггеры, переключатели, логические элементы, сенсоры и молекулярные машины предельно малых размеров. В докладе будут представлены данные полноатомного молекулярно-динамического моделирования олигомера пиридин-фурана в спиралеобразной конформации длиной в несколько нанометров в тетрагидрофуране. Будет показано, что при критических растяжениях такая нанопружина становится бистабильной динамической системой, аналогичной осциллятору Дуффинга, с характерными эффектами спонтанных вибраций и стохастического резонанса. [1,2]. Примечательно, что тепловых флуктуаций среды при комнатной температуре оказывается вполне достаточно для спонтанных вибраций пиридин-фурановой нанопружины.

Не меньший интерес представляет и явление спонтанной синхронизации спонтанных вибраций связанных бистабильных систем. Теоретически это явление описано моделями функционально связанных систем уравнений Ланжевена с бистабильным потенциалом, в которых функция связи между бистабильными системами имеет общий, но достаточно специфический вид. Однако на практике вопрос о конкретном воплощении синхронизирующего взаимодействия бистабильных систем оказывается изначально неопределенным и центральным. В докладе будут показаны конкретные конструкции связанных пиридин-фурановых нанопружин, в которых удастся достичь достаточно высокой синхронизации их спонтанных вибраций.

Список литературы:

- [1] Avetisov V.A., Frolkina M.A., Markina A.A., Muratov A.D., Petrovskii V.S. *Nanomaterials* **11** (12), 3264 (2021).
[2] Аветисов В.А., Астахов А.М., Валов А.Ф., Маркина А.А., Муратов А.Д., Петровский В.С., Фролкина М.А. *Химическая физика* **42** (6), 21 (2023); Avetisov V.A., Astakhov A.M., Valov A.F., Markina A.A., Muratov A.D., Petrovsky V.S., Frolkina M.A. *Russian Journal of Physical Chemistry* **17** (3), 533 (2023).

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ, ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ТРАНСПОРТНЫХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК ПОЛИЛАКТИД / ПОЛИБУТИЛЕНСУКЦИНАТ

Мельникова С.Д., Ларин С.В.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
sofia.melnikova122@gmail.com*

Создание многослойных полимерных пленок на основе биоразлагаемых полимеров является одним из перспективных подходов с точки зрения получения экологичных материалов с необходимыми эксплуатационными свойствами. Метод коэкструзии позволяет создавать многослойные полимерные пленки с различным числом и толщиной слоев [1] посредством непрерывного технологического процесса. Как полилактид (ПЛА), так и полибутиленсукцинат (ПБС) представляют собой биоразлагаемые полиэфиры. Создание многослойных полимерных пленок на основе ПЛА и ПБС с помощью метода коэкструзии может способствовать получению экологичных материалов с улучшенными газобарьерными свойствами [2]. Целью данной работы являлась разработка моделей пленок ПЛА/ПБС, а также исследование их структуры, теплофизических и транспортных свойств с помощью моделирования методом молекулярной динамики. Полноатомное компьютерное моделирование проводилось с помощью программного пакета Gromacs в силовом поле GAFF (General Amber Force Field) [3, 4]. Для анализа транспортных свойств систем выполнялось моделирование диффузии молекул O₂, CO₂ и H₂O в пленках при температуре 370 К. Анализ зависимости глубины межслойной диффузии от времени моделирования показал, что системы достигают метастабильного состояния после 300 нс моделирования при температуре 550 К. Аналогичный вид зависимости был получен ранее для пленок на основе ПЛА и поли(3-гидроксибутирата) [5]. При охлаждении многослойных систем ПЛА/ПБС на кривых охлаждения наблюдался один переход, соответствующий стеклованию, что характерно для смесей из смешивающихся между собой полимеров. На основе анализа коэффициентов диффузии и распределения молекул CO₂, O₂ и H₂O в пленках была обнаружена селективность распределения молекул CO₂ и O₂ по слоям, что коррелирует с экспериментальными значениями растворимости [2].

Список литературы:

- [1] Li Z., Olah A., Baer E. Prog. Polym. Sci. **102**, 101210 (2020).
- [2] Messin T., Marais S., Follain N., Guinault A., Gaucher V., Delpouve N., Sollogoub C. J. Memb. Sci. **598**, 117777 (2020).
- [3] Wang J., Wolf R.M., Caldwell J.W., Kollman P.A., Case D.A. J. Comput. Chem. **25** (9), 1157 (2004).
- [4] Van Der Spoel D., Lindahl E., Hess B., Groenhof G., Mark A.E., Berendsen H.J.C. J. Comput. Chem. **26** (16), 1701 (2005).
- [5] Melnikova S.D., Larin S.V. J. Polym. Sci. **61** (8), 671 (2023).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (грант № 075-15-2020-794).

4-O-16

**ДИССИПАТИВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПОЛИМЕРАХ «ПВС-KJ-J₂»;
PC-007UL1; RESIONE D01 В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР ОТ МИНУС
150°С ДО +150 °С**

Ломовской В.А., Жуков В.А.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской
академии наук, Москва, Россия
v89160177896@yandex.ru*

Исследуются теоретические вопросы описания молекулярной подвижности элементов структурно-кинетических подсистем, образующих в совокупности всю исследуемую полимерную систему.

Теоретический анализ этих явлений проводится с двух модельных представлений: модель однородного непрерывного сплошного тела и атомно-молекулярная модель отдельно для каждой структурно-кинетической подсистемы.

Данный анализ проведен для динамических режимов внешнего воздействия при возбуждении в образцах исследуемых систем свободно затухающего колебательного процесса. Показано, что на экспериментально полученных спектрах внутреннего трения и температурных зависимостях частоты колебательного процесса наблюдается ряд локальных по температуре диссипативных процессов каждому из которых соответствует аномальное изменение частоты (модуля сдвига). Произведен расчет физико-механических и физико-химических характеристик для каждого обнаруженного на спектре пика диссипативных потерь. По дефекту модуля (частоты колебательного процесса) определен механизм внутреннего трения (на примере Поливинилового спирта – KJ-J₂, поликарбоната марки PC-007UL1, фотополимерной смолы марки Resione D01).

СЕКЦИЯ 4

ТЕОРИЯ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

О СВЯЗИ УПРУГИХ СВОЙСТВ И ПОРИСТОСТИ КЕРОГЕНОВ ПО ДАННЫМ АТОМИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Алексеева М.С.¹, Кондратюк Н.Д.^{1,2,3}

¹Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)

²Объединённый институт высоких температур РАН

³Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики

Исследование керогенов, основной органической составляющей сланца, представляет большой интерес, как для научного сообщества, так и для нефтегазовой отрасли. Кероген, главный компонент органического вещества, имеет сложную химическую структуру. Кроме того, свойства керогена определяются его составом и процессом созревания. Экспериментально свойства керогена сложно измерить. Создание молекулярной модели керогена и расчет различных процессов способствует разработке нетрадиционных энергетических ресурсов. В последнее десятилетие появилось немало вычислительных работ в этой области, что обусловлено развитием суперкомпьютерных ресурсов.

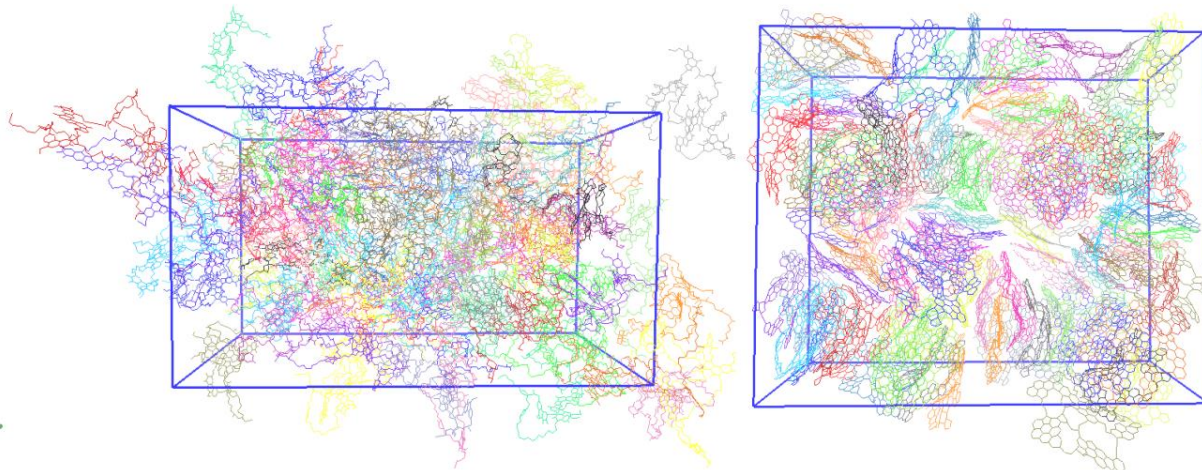


Рис.1 — Вычислительные ячейки керогенов типа I-A и II-D, для которых проведены расчеты модулей упругости и пористости.

В данной работе проводится атомистическое моделирование керогенов, а также исследуются различные упругие свойства незрелых (I-A) и перегретых (II-D) керогенов, в частности объемный модуль упругости, модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Рассматривается взаимосвязь этих параметров с плотностью и пористостью структуры. Полученные результаты лежат в экспериментальном диапазоне значений, а также сравниваются с последними работами по моделированию в этой области [1].

Список литературы:

[1] *Kashinath A. et al.* Unconventional Resources Technology Conference (URTeC); Society of Exploration Geophysicists, C. 391-406 (2019).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ГОМОПОЛИМЕРА МЕТОДОМ МАЛОУГЛОВОГО РЕНТГЕНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ

Амарантов С.В.

*ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» Институт кристаллографии
им. А.В. Шубникова
amarantov_s@mail.ru*

Среди полиаминоалкилметакрилатов наиболее широко используются полимеры на основе поли-N,N-диметиламиноэтилметакрилата (ПДМАЭМ). Синтез образца ПДМАЭМ при N=560 был описан в статье [1]. В данной работе исследовались конформации водного раствора полимера методом рентгеновского малоуглового рассеяния. Измерения были проведены на малоугловой станции Bio-MUR РИЦ "Курчатовский институт" на рабочей длине волны $\lambda=0,1445$ нм [2]. В интервале температур от 20 до 80 градусов, при pH=8,5 c=5мг/мл, исследовалась температурная зависимость водного раствора ПДМАЭМ, а именно обратимый переход "клубок –глобула" от развернутой формы к более компактной с ростом температуры. Фитированием $\min|I_{\text{exp}} - I_{\text{mod}}|$ экспериментальной кривой $I(q)_{\text{exp}}$ к модельной $I(q)_{\text{mod}}$ были, в зависимости от температуры, определены: радиус инерции ассоциатов из глобулярных структур, тип растворителя, радиус инерции отдельной глобулы – блоба, степень его компактности, персистентная и среднеквадратичная длина полимерных цепей. Модель описывающая экспериментальные кривые рассеяния $I(q)_{\text{mod}}$: содержит два слагаемых, первое слагаемое описывает рассеяние от ассоциатов $I(q)_{\text{Ass}}$, второе $I(q)_{\text{Pch}}$ от полимерных цепей принимающих в растворе различную конформацию, интерференционный вклад в рассеяние между цепями учитывается структурным фактором $S_1(q)$, где модуль вектора рассеяния $q=4\pi\sin(\theta)/\lambda$, θ - половина угла рассеяния. $I(q)_{\text{mod}} = I(q)_{\text{Ass}} + I(q)_{\text{Pch}} S_1(q)$ В данном случае, поскольку ПДМАЭМА является слабым полиэлектролитом и его третичные аминогруппы в каждом звене способны протонироваться, в результате чего, в водном растворе часть звеньев гомополимера была заряжена. При повышении температуры от 20 до 80 градусов наблюдается увеличение размеров ассоциатов приблизительно в два раза с 55нм до 105нм и некоторое уменьшение размеров с 4,5нм до 4,1нм составляющих ассоциаты полимерных клубков – блобов. С ростом температуры выше 60 градусов растворимость полимера в воде ухудшается, попадая в область "θ-растворителя". Таким образом, при повышении температуры наблюдается формирование глобулярных структур, которые подвергаются вторичной ассоциации. При этом глобулы подвергаются дальнейшей дегидратации, то есть одновременно проходят два процесса: компактизация глобулярных полимерных клубков и их агрегация в ассоциаты - мультиглобулы. Для раствора ПДМАЭМА была получена зависимость параметра Флори-Хаггинса от температуры (t) и определены области "хорошего" от 20⁰С до 60⁰С и "тета"- растворителя t >60⁰С.

Список литературы:

[1] Penott-Chang K., Pergushov D.V., Zezin A.B., and Müller A. Langmuir. **26**(11) 7813–7818 (2010). [2] Peters G.S, Zakharchenko O.A. et al. Nuclear Inst. and Methods in Physics Research **A 945**.162616-162623(2019).

ЖИДКИЕ ДИАЛКИЛКАРБОНАТЫ ПОВЫШАЮТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРАХ

Андреева Н.А.¹, Чабан В.В.²

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ВШВЭ,

²Ереванский Государственный Университет, Ереван, Армения

Полимерные диэлектрические материалы получили активное технологическое применение как разделители электрического заряда в перезаряжаемых устройствах для хранения электрической энергии, таких как электрические конденсаторы. Благодаря пространственному разделению положительного и отрицательного электродов, полимерные диэлектрики подходящей структуры способствуют повышению эксплуатационных характеристик электрических конденсаторов и препятствуют возникновению локальных дефектов изоляторов в результате электрических пробоев. В качестве изолирующих полимеров в электрических конденсаторах принято использовать целлюлозу, полипропилен, полиэтилентерефталат и некоторые другие материалы. Одним из наиболее перспективных твердых диэлектриков является целлюлоза из-за дешевизны получения и относительно высокого значения диэлектрической проницаемости. Эффективность работы полимерного диэлектрика в значительной степени зависит от его локальной плотности и равномерности распределения вещества по объему материала. Так как полимерные диэлектрики вследствие относительной жесткости своих регулярных структур подвержены возникновению структурных гетерогенностей [1], их следует обрабатывать жидкими минеральными маслами, играющими роль наполнителей. В настоящей работе впервые показано, что жидкие диалкилкарбонаты более эффективно пропитывают полимерные диэлектрики (целлюлозу, полипропилен, полиэтилентерефталат) по сравнению с минеральными маслами. Тем самым новые соединения улучшают эксплуатационные характеристики электрических конденсаторов. Анализ физико-химических взаимодействий между пропитывающей жидкостью и диэлектрическим полимером был произведен посредством молекулярно-динамического моделирования при использовании авторской модели силового поля. Показано, что диалкилкарбонаты с октильными и додецильными боковыми цепочками проникают в структуру полимеров и заполняют все спонтанно образованные полости [1]. Диалкилкарбонаты представляют собой недавно синтезированный класс линейных органических карбонатов. Отличительными особенностями данных соединений является уникально низкая вязкость, что упрощает их технологическое применение. Диалкилкарбонаты с длинными алкильными цепями имеют низкую летучесть, что уменьшает процент потери смазки в процессе пропитывания и в ходе эксплуатации электрического перезаряжаемого устройства [2].

Список литературы:

[1] Chaban V.V., Andreeva N.A. *J Mol Liq*, **367**, 120454, (2022).

[2] Triolo A., Chaban V.V., Lo Celso F., Leonelli F., Vogel M., Steinrücken E., Del Giudice A., Ottaviani C., Kenar J.A., Russina O. *J Mol Liq*, **369**, 120854, (2023).

НАНОРАЗМЕРНЫЙ ПОЛУПРОВОДЯЩИЙ УГЛЕРОД КАК ХИМИЧЕСКИЙ ПРОДУКТ РАЗЛОЖЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО ДИЭЛЕКТРИКА В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРОБОЯ В КОНДЕНСАТОРЕ

Андреева Н.А.¹, Чабан В.В.², Белько В.О.¹

¹*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ВШВЭ,*

²*Ереванский Государственный Университет, Ереван, Армения*

Диэлектрические полимеры получили широкое распространение в электрических конденсаторах, где они выполняют роль пространственного разделителя положительно и отрицательно заряженных электродов. Химическая стабильность и диэлектрические характеристики полимерного изолятора являются первостепенными параметрами, которые определяют качество перезаряжаемого источника тока. При нарушении условий эксплуатации в электрическом конденсаторе происходит электрический пробой, потенциально угрожающий работоспособности и перманентной емкости перезаряжаемого устройства. В ходе указанного вида пробоя происходит спонтанный и неконтролируемый электрический разряд в толще полимера-диэлектрика. Так как в общем случае целостность устройства не нарушается, электрическая и последующая химическая реакции происходят в закрытой системе. Локальная температура диэлектрика в районе пробоя составляет порядка 7000 К. Повышенная таким образом кинетическая энергия системы инициирует химические реакции разложения полимера (полипропилена, полиэтиленнафталата, полифениленсульфида, полиэтилентерефталата). В настоящей работе мы использовали метод реакционного молекулярно-динамического моделирования для проведения неравновесного компьютерного эксперимента на атомарном уровне организации. Целью моделирования было наблюдение за кинетикой высокотемпературного разложения полипропилена, полиэтиленнафталата, полифениленсульфида и полиэтилентерефталата в режиме реального времени и определение конкретных низкомолекулярных продуктов распада. В результате реакционного молекулярно-динамического моделирования было установлено, что полимер локально испаряется и выделяет ряд газов, среди которых выделяются монооксид и диоксид углерода, молекулярный водород, метан, этилен, ацетилен и пары воды. Показано, что процентное содержание атомов кислорода значительно влияет на состав газовой смеси, а также общую мольную долю газов в перечне химических продуктов разложения диэлектрического полимера. Помимо газообразных продуктов происходит образование наноразмерных структур, состоящих преимущественно из углерода, однако также включающих незначительное количество атомов других элементов второго периода. Разработана гипотеза, согласно которой полупроводниковое поведение новообразованной углеродной наноструктуры, родственное углеродной квантовой точке, оказывает влияние на дальнейшие эксплуатационные характеристики электрического конденсатора. Состоятельность предложенной гипотезы обсуждена в контексте экспериментальных данных, описывающих электрический пробой.

САМОСБОРКА ГРЕБНЕОБРАЗНЫХ СОПОЛИМЕРОВ С ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРИШИВКОЙ БОКОВЫХ ЦЕПЕЙ: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Белкина К.А.^{1,2}, Буглаков А.И.², Василевская В.В.²

¹*Московский физико-технический институт (Национальный исследовательский университет), г. Долгопрудный*

²*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова
Российской академии наук, г. Москва
belkina.ka@phystech.edu*

Амфифильные гребнеобразные сополимеры за счет высокой поверхностной активности способны самособираться в структуры с различной геометрией, что делает их перспективными кандидатами для создания новых функциональных материалов. Пришивку боковых цепей можно осуществить за счет физических взаимодействий, таких как водородные связи или «гость-хозяин» [1], что позволяет получать супрамолекулярные гребнеобразные сополимеры с обратимо изменяемой плотностью пришивки.

В данной работе методом мезоскопического компьютерного моделирования [2] исследован процесс самосборки и спонтанного упорядочения супрамолекулярных гребнеобразных макромолекул из растворов гидрофобных и гидрофильных полимеров, способных к образованию между собой насыщаемых динамических связей [3]. Определены особенности распределения пришитых боковых цепей в зависимости от энергии связывания с гидрофобным полимером и качеством растворителя для обоих компонентов смеси. Выделены режимы частично блочного и однородного связывания боковых цепей с гидрофобным полимером. Выявлены условия формирования из получаемых систем сферических и цилиндрических мицелл со структурой ядро-оболочка и везикул. Проведено сравнение результатов моделирования с имеющейся теорией, полученной в приближении среднего поля.

Список литературы:

- [1] *Amrita Sikder, Cem Esen, Rachel K. O'Reilly. Acc. Chem. Res., 55, 1609 (2022).*
- [2] *Robert D. Groot and Patrick B. Warren. J. Chem. Phys., 107, 4423 (1997).*
- [3] *Komarov P.V., Rudyak V.Yu., Gavrilov A.A. Mol. Syst. Des. Eng., 5, 1137 (2020).*

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 19-73-20104. Моделирование проводилось на оборудовании Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова.

ДЕПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ПОЛИБУТАДИЕНА-1,4 ПОД ДЕЙСТВИЕМ RU-КАРБЕНОVOГО КОМПЛЕКСА ГРАББСА 1-ГО ПОКОЛЕНИЯ: СТРОЕНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОМПЛЕКСА

Малых В.В.¹, Буланов К.С.¹, Муратов Д.В.², Топчий М.А.³, Моронцев А.А.³,
Большиков Б.Д.³, Грингольц М.Л.³

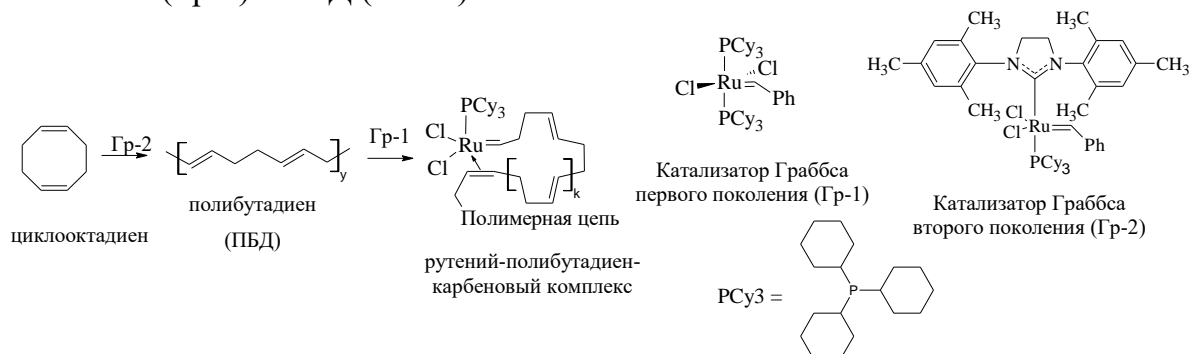
¹Школа № 1502 «Энергия», г. Москва

²МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва

³Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева РАН, г. Москва
morontsev@ips.ac.ru

Процессы переработки и повторного использования промышленных полимеров и, в частности полибутадиена-1,4 (ПБД), находятся в сфере пристального научного интереса. Например, предложены пути его деполимеризации в макроциклические олигобутадиены C14-C44 по схеме олефинового метатезиса [1], переработки в мультимодуль-сополимеры по реакции макромолекулярного кросс-метатезиса с полинорборненом [2]. В обоих случаях процесс включает стадию взаимодействия катализатора с ПБД и образование промежуточного полимерного комплекса Ru=ПБД, ведущего цепь превращений.

В настоящей работе ПБД, содержащий исключительно звенья 1,4-бутадиена, получен метатезисной полимеризацией цис,цис-1,5-циклооктадиена с раскрытием цикла под действием катализатора Граббса второго поколения. Методом *in situ* 1H ЯМР мониторинга исследовано взаимодействие катализатора Граббса первого поколения (Гр-1) с ПБД (схема).



Найдено, что в результате взаимодействия Гр-1 с ПБД образуются новые рутений-карбеновые комплексы. DOSY ЯМР-спектроскопией показано, что активные центры находятся на конце цепи ПБД. По данным NOESY в реакционной массе находятся циклические и линейная форма Ru-карбенового комплекса. С помощью DFT расчетов показано, что наиболее устойчивым является циклический Ru-карбеновый комплекс, содержащий 5 звеньев бутадиена.

Список литературы:

- [1] Dewaele A., Renders A.T., Yu B., Verpoort F. *et al.* Catal. Sci. Technol. **6**, 7708 (2016).
[2] Morontsev A.A., Gringolts M.L., Filatova M.P., *et al.* Polymer Science, Series C. **61**, 65 (2019).

Благодарности

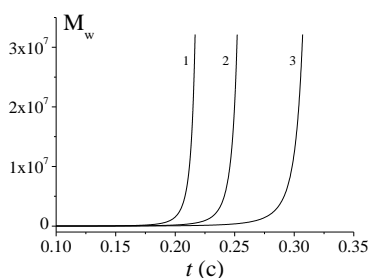
Работа выполнена в рамках Государственного задания ИИХС РАН.

ОСОБЕННОСТИ ТРЕХМЕРНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ В ФОТОПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ ПРИ НАЛИЧИИ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Никитин А.Н., Внук В.В., Ипполитов Е.В., Камаев С.В., Марков М.А.,
Новиков М.М., Черобыло С.А.

*Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН – филиал ФГУ
«ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН», г. Шатура
anatoly_nikitin@mail.ru*

В настоящее время одна из первых аддитивных технологий - лазерная стереолитография - все еще широко используется в медицине, в промышленности и в других сферах человеческой деятельности. Моделирование трехмерной (со)полимеризации, протекающей при формировании трехмерных объектов по этой технологии, способствует ее оптимизации, разработке новых фотополимерных композиций и др. Особенностью этой (со)полимеризации является то, что отверждение выбранного участка фотополимерной композиции (ФПК) происходит при иницировании только одним импульсом излучения. Впервые кинетика трехмерной полимеризации в ФПК до точки гелеобразования при таком иницировании рассмотрено нами в работе [1] с применением пакета программ PREDICI. В данной работе приведены теоретические исследования влияния добавления наполнителя в ФПК, состоящей из инициатора и бифункционального мономера, на кинетику трехмерной полимеризации. Используемая для этой цели модель учитывает образование в системе полирадикалов, реакции их сшивания и циклизации. Также учитываются дезактивации радикалов в результате их ингибирования кислородом, реакции с первичными радикалами, бирадикального обрыва цепей внутри полирадикалов и “обездвиживания” радикала. Рассчитана временная динамика параметров системы (среднечисловая и средневесовая длины цепей, конверсии мономера, уровня сшивания и положения точки гелеобразования) в зависимости от содержания, размера, прозрачности и плотности наполнителей. В качестве одного из результатов, на рисунке приведены зависимости положения точки гелеобразования от времени для различных массовых долей наполнителя гидроксида алюминия.



Зависимость средневесовой длины цепей M_w от времени
для различных массовых долей наполнителя
(0 (1), 10 (2) и 20 % (3))

Список литературы: [1] Nikitin A. N., Cherebylo S. A., Ippolitov E. V., Kamaev S. V., Markov M. A., Novikov M. M., Vnuk V. V. Conference Series, **1347**, 012097(2019).

Благодарности Работа выполнена в рамках Государственного задания ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

ИЗУЧЕНИЕ АДсорбЦИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ СОПОЛИМЕРОВ С ПОМОЩЬЮ ПРИБЛИЖЕНИЯ МОРИТЫ ВЫСОКИХ ПОРЯДКОВ

Полоцкий А.А., Иванова А.С.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург
alexey.polotsky@gmail.com*

Теоретически исследована адсорбция одиночной цепи статистического АВ-сополимера на однородной и неоднородных аб-поверхностях с регулярным периодическим распределением сайтов a и b [1]. Для усреднения по беспорядку в последовательности статистического сополимера используется приближение «ограниченно размороженного» беспорядка, известное как приближение Мориты. Нами предложена общая схема построения приближения Мориты произвольного порядка m ; он основан на представлении последовательности звеньев в статистическом сополимере в виде марковской цепи перекрывающихся $(m-1)$ -ад. Задача решается в рамках метода производящих функций для двумерной частично направленной модели полимера на квадратной решетке. Получены температурные зависимости различных адсорбционных характеристик. Точность приближения Мориты оценивается путем сравнения с численными результатами для статистических сополимеров с «замороженными» последовательностями, полученными методом матрицы перехода. Показано, что для адсорбции статистического сополимера на однородной поверхности для АВ-сополимеров с адсорбирующимися блоками А и нейтральными блоками В достаточно использовать приближение Мориты второго или третьего порядка. Если же неадсорбирующий блок В отталкивается от поверхности, требуется более высокий порядок аппроксимации (5-й или 6-й). Важным индикатором корректности использования приближения Мориты является энтропия: если порядок приближения недостаточно высок, энтропия становится отрицательной в области низких температур, что означает, что приближение Мориты неверно в этом порядке. В случае, когда поверхность периодически неоднородна, приближение Мориты работает хуже и для получения корректного результата требуются очень высокие порядки, что может оказаться за пределами вычислительных возможностей. Более того, здесь мы также сталкиваемся с эффектом вырождения, когда приближения Мориты двух и более последовательных порядков дают один и тот же результат.

Список литературы:

[1] Polotsky A.A., Ivanova A.S. J. Phys. A: Math. Theor. **56**, 335002 (2023).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-23-00531).

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЫЧЬЕГО СЫВОРОТОЧНОГО АЛЬБУМИНА С
ПОЛИАНИОННОЙ ИЛИ ПОЛИКАТИОННОЙ ЩЕТКОЙ:
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРИБЛИЖЕНИИ
САМОСОГЛАСОВАННОГО ПОЛЯ**

Попова Т.О.^{1,2}, Лактионов М.Ю.¹, Жулина Е.Б.², Борисов О.В.^{1,2}

¹*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия*

²*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург, Россия*

Взаимодействие глобулярных белков с полиэлектролитами активно исследуется как теоретически, так и экспериментально. Одним из широко изученных представителей глобулярных белков является бычий сывороточный альбумин (БСА). Он представляет собой слабый полиамфолит, на поверхности которого расположены рН-чувствительные кислотные, основные и нейтральные аминокислотные остатки. БСА обладает большим суммарным зарядом, что делает его привлекательным для изучения с точки зрения понимания роли электростатических взаимодействий. Мы рассматриваем систему, состоящую из модельного белка (БСА) [1] и плоской полиэлектролитной (поликатионной/полианионной) щетки, цепи которой сформированы сильным (не рН-чувствительным) полиэлектролитом. Изучение описанной системы проводилось в рамках приближения самосогласованного поля Пуассона – Больцмана. В результате работы была проведена оценка изменения свободной энергии введения БСА в полиэлектролитную щетку. Свободная энергия включает в себя три доминирующих вклада: (i) свободную энергию электростатических взаимодействий, (ii) осмотический вклад и (iii) короткодействующие притягивающие взаимодействия незаряженной области поверхности БСА с цепями щетки. В результате моделирования было продемонстрировано, что, во-первых, поглощение белка полиэлектролитными щетками эффективно при низкой и подавляется при высокой ионной силе. Во-вторых, увеличение/уменьшение рН буфера способствует термодинамически благоприятной абсорбции белка поликатионной/полианионной щеткой, соответственно [2]. Также нами было продемонстрировано, что БСА эффективнее поглощается полианионной щеткой, чем поликатионной при рН буфера близком к изоэлектрической точке БСА. Кроме того, теория подтверждает, что полианионная щетка может эффективно поглощать БСА при большем отклонении от ИЭТ по сравнению с поликатионной щеткой [3].

Список литературы:

[1] Majorek K. A., Porebski P. J., Dayal A., Zimmerman M. D., Jablonska K., Stewart A. J., Chruszcz M., Minor W. *Molecular immunology*. **52** (3-4), 174–182 (2012). [2] Wittmann, A.; Haupt, B.; Ballauff, M. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **5**, 1671–1677 (2003). [3] Han, L., Yan, B., Zhang, L., Wu, M., Wang, J., Huang, J., Deng, Y., Zeng H. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. **539**, 37–45 (2018).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, грант № 23-13-00174.

СМЕШЕНИЕ СОВМЕСТИМЫХ ЖИДКОСТЕЙ В МИКРОКАПЛЕ ПРИ ТЕЧЕНИИ В ПСЕВДОПЛАСТИЧНОЙ ЖИДКОСТИ

Рощин Д.Е., Патлажан С.А.

*Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семенова
Российской Академии Наук
roschin.d.e@mail.ru*

Во многих важных областях микрожидкостных технологий критически важную роль играют процессы смешивания жидкостей внутри микрокапель [1]. Понимание особенностей смешивания ньютоновских и неньютоновских полимерных жидкостей в каплях при течении в микроканалах необходимо, в частности, для описания процессов химических реакций и полимеризации внутри капель, доставки лекарственных препаратов и других химических и биологических приложений. И хотя на сегодняшний день смешивание совместимых жидкостей в микрокапле при ее обтекании ньютоновской сплошной средой хорошо изучены, в случае неньютоновских сред эти процессы практически не изучены, несмотря на то, что неньютоновские растворы полимеров и биологические жидкости, играют важную роль в микрофлюидике.

В данной работе исследовались закономерности смешения совместимых жидкостей в микрокапле в процессе течения в микроканале. Рассматривалась как ньютоновская, так и псевдопластичные сплошные среды несовместимые с дисперсной фазой. Псевдопластичное поведение сплошной среды моделировалось с использованием соотношения Карро-Ясуда, описывающее уменьшение вязкости со скоростью сдвига. Поле скоростей в рассматриваемых двухфазных системах определялось численно путем решения уравнений Навье-Стокса методом конечных объемов на базе вычислительной платформы OpenFoam [2]. Динамическое поведение межфазной границы моделировалось с использованием метода объема жидкости.

Установлено, что характерное время смешения зависит от числа Пекле степенным образом как для ньютоновских, так и псевдопластичных сплошных сред. При этом для псевдопластичных жидкостей показатель степени зависит от угла наклона кривой вязкости. Показано, что данный показатель зависит от распределения вязкости псевдопластичной среды в окрестности микрокапли. Также определена зависимость характерного времени смешения от параметра конфайнмента (отношения диаметра капли к ширине канала).

Список литературы:

[1] *Suh K. Y., Kang S. Micromachines* **1** (3), 82-111 (2010).

[2] *Weller H., Tabor G., Jasak H., Fureby C. Comput. Fluids* **12** (6), 620-631 (1998).

Благодарности

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и образования России FFZE -2022-0010.

СОДЕРЖАНИЕ

Расписание.....	5
Научная программа.....	7
Список стендовых докладов.....	25
Пленарные доклады.....	41
Приглашённые доклады	49
Секция 1. Синтез и модификация полимеров	
Устные доклады.....	55
Стендовые доклады.....	97
Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов	
Устные доклады.....	149
Стендовые доклады.....	238
Секция 3. Биополимеры и полимеры медицинского назначения	
Устные доклады.....	336
Стендовые доклады.....	384
Секция 4. Теория и компьютерное моделирование	
Устные доклады.....	434
Стендовые доклады.....	451