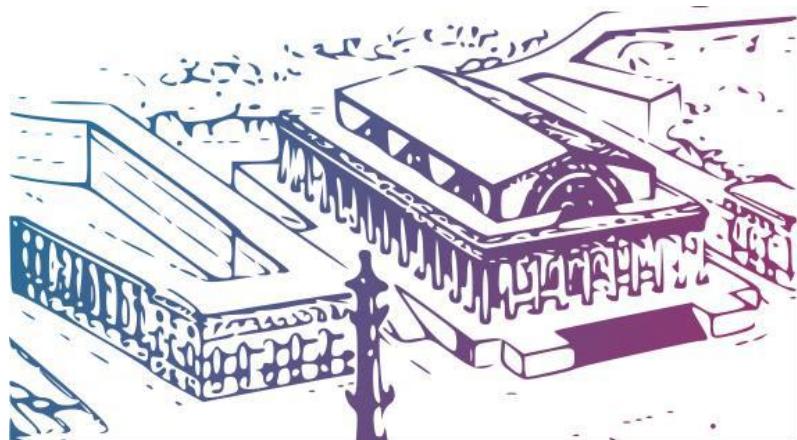


## **ПРОГРАММА И ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**



# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ О ПОЛИМЕРАХ**

**17-я Санкт-Петербургская конференция молодых ученых с  
международным участием**

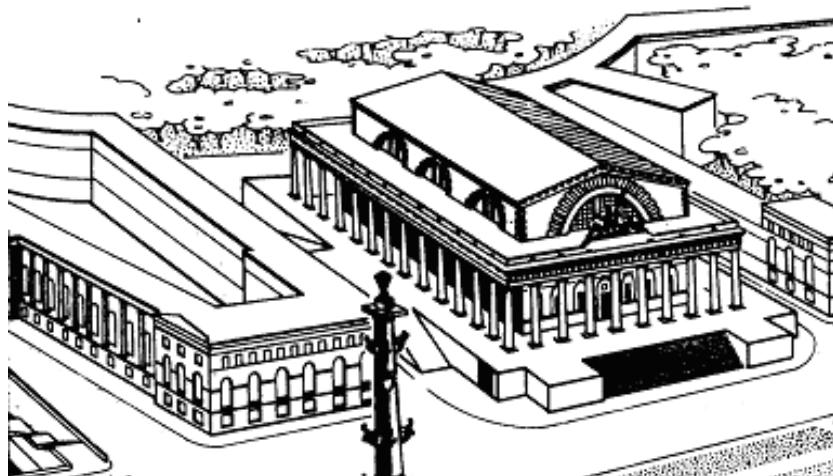
**27 – 30 октября 2025 г.,  
Санкт-Петербург, Россия**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ ИМ. Б.П. КОНСТАНТИНОВА»

ФИЛИАЛ НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ» – ПИЯФ –  
ИНСТИТУТ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ О ПОЛИМЕРАХ



**Программа и тезисы докладов  
17-й Санкт-Петербургской конференции молодых ученых с  
международным участием**

**27 – 30 октября 2025 г.,  
Санкт-Петербург, Россия**

## Организаторы

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»**



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ ИМ. Б.П.  
КОНСТАНТИНОВА»**



**ФИЛИАЛ НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ  
ИНСТИТУТ» – ПИЯФ – ИНСТИТУТ  
ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ  
СОЕДИНЕНИЙ**



**ОПЕРАТОР КОНФЕРЕНЦИИ**



## **Организационный комитет**

А.А. Полоцкий (председатель)  
С.В. Ларин (зам. председателя)  
А.С. Иванова (учёный секретарь)

## **Программный и научный комитет**

А.П. Филиппов – председатель  
А.В. Якиманский  
С.В. Бронников  
И.В. Иванов  
М.Л. Левит  
Т.Ю. Кирилэ  
А.Л. Николаева  
Н.В. Дубашинская  
И.В. Волгин

## **Локальный комитет**

А.Н. Блохин  
А.Н. Бокатый  
М.С. Борисенко  
В.К. Воробьев  
А.Ю. Добровский  
К.И. Каскевич  
А.В. Кашина  
Н.Д. Козина  
И.В. Кунцман  
А.М. Митрошин  
К.С. Полотнянщиков  
С.В. Родченко  
А.А. Якиманский

# РАСПИСАНИЕ

Понедельник, 27 октября		
9:15 – 9:30	<b>Открытие конференции</b>	
9:30 – 11:00	<b>Пленарные доклады</b>	
11:00 – 11:30	<b>Кофе-брейк</b>	
11:30 – 13:15	<b>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</b>	<b>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</b>
13:15 – 14:30	<b>Перерыв на обед</b>	
14:30 – 16:00	<b>Секция 3. Полимерные композиционные материалы</b>	<b>Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</b>
16:00 – 16:30	<b>Кофе-брейк</b>	
16:30 – 18:30	<b>Стендовая сессия (Секция 1)</b>	
19:00 – 22:00	<b>WELCOME PARTY</b>	

Вторник, 28 октября		
9:45 – 11:00	<b>Секция 5. Теория, компьютерное моделирование и машинное обучение</b>	<b>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</b>
11:00 – 11:30	<b>Кофе-брейк</b>	
11:30 – 13:00	<b>Пленарные доклады</b>	
13:00 – 14:30	<b>Перерыв на обед</b>	
14:30 – 16:00	<b>Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</b>	<b>Секция 3. Полимерные композиционные материалы</b>
16:00 – 16:30	<b>Кофе-брейк</b>	
16:30 – 18:30	<b>Стендовая сессия (Секции 4 и 5)</b>	

Среда, 29 октября		
9:30 – 11:15	<b>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</b>	<b>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</b>
11:15 – 11:30	<b>Кофе-брейк</b>	
11:30 – 13:00	<b>Пленарные доклады</b>	
13:00 – 14:30	<b>Перерыв на обед</b>	
14:30 – 16:20	<b>Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</b>	<b>Секция 5. Теория, компьютерное моделирование и машинное обучение</b>
16:05 – 16:35	<b>Кофе-брейк</b>	
16:35 – 18:30	<b>Стендовая сессия (Секции 2, 3 и 6)</b>	

Четверг, 30 октября		
9:30 – 10:45	<b>Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</b>	<b>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</b>
10:45 – 12:30	<b>Кофе-брейк, перерыв на обед</b>	
12:30 – 14:30	<b>Секция 3. Полимерные композиционные материалы</b>	<b>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</b>
14:30 – 15:00	<b>Закрытие конференции</b>	

# НАУЧНАЯ ПРОГРАММА

Понедельник, 27 октября		
Пленарные доклады		Конференц-зал ИВС РАН
Председатель: <u>А.П. Филиппов</u>		
9-30 – 10-15	<u>Лупоносов Ю.Н.</u> СОПРЯЖЕННЫЕ ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫЕ ОЛИГОМЕРЫ И ПОЛИМЕРЫ ДЛЯ ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ И БИОМЕДИЦИНЫ	<b>PL-01</b>
10-15 – 11-00	<u>Бермешев М.В.</u> ЗАМЕЩЕННЫЕ ЦИКЛООЛЕФИНЫ НОРБОРНЕНОВОГО РЯДА – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ БЛОКИ НОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	<b>PL-02</b>
Секция 1. Синтез и модификация полимеров		Конференц-зал
Председатель: <u>Ю.Н. Лупоносов</u>		
11-30 – 11-45	<u>Безлепкина К.А.</u> , Беликова И.И., Аристова В.А., Ульянкин Р.В., Ардабьевская С.Н., Крылов Ф.Д., Франк И.В., Миняйло Е.О., Анисимов А.А., Зубова В.Ю., Миленин С.А., Музрафов А.М. ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИДИМИТИЛСИЛОКСАНОВ С КОНЦЕВЫМИ АЛКОКСИЛЬНЫМИ ГРУППАМИ	<b>1-O-01</b>
11-45 – 12-00	<u>Полицимако И.А.</u> , Кудашев С.В., Желтобрюхов В.Ф. МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ ПОЛИФТОРИРОВАННЫМИ АМИНАМИ	<b>1-O-02</b>
12-00 – 12-15	<u>Чичаров А.А.</u> , Краснова В.В., Власова А.О., Зайцев С.Д. PET-RAFT ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА В ПРИСУТСТВИИ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЕЙ ДИОКСИДА ТИТАНА	<b>1-O-03</b>
12-15 – 12-30	<u>Ситко А.В.</u> , Журавская О.Н., Власова Е.Н., Панарин Е.Ф. СОПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОВОГО АНГИДРИДА И АЛИФАТИЧЕСКИХ АМИНОВ	<b>1-O-04</b>
12-30 – 12-45	<u>Журавлева А.А.</u> , Василенко И.В., Костюк С.В. ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МИКРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА И ГИДРОФИЛЬНЫХ МЕТОКСИ(ОЛИГОЭТИЛЕНОКСИД)(МЕТ)АКРИЛАТОВ	<b>1-O-05</b>
12-45 – 13-00	<u>Терехов В.Е.</u> , Морозов О.С., Кепман А.В. ФТАЛОНИТИРИЛЬНЫЕ МАТРИЦЫ ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННОЙ ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТЬЮ	<b>1-O-06</b>
13-00 – 13-15	<u>Наземутдинова В.Р.</u> , Ильин С.О., Моронцев А.А., Возняк А.И., Бермешев М.В. СИНТЕЗ ДИМЕРОВ, ТРИМЕРОВ, ТЕТРАМЕРОВ И ПЕНТАМЕРОВ 5-Н-АЛКИЛНОРБОРНЕНА ПО СХЕМЕ МЕТАТЕЗИСА С ПОСЛЕДУЮЩИМ ГИДРИРОВАНИЕМ	<b>1-O-07</b>

<b>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</b> Председатель: <u>М.В. Бермешев</u>		<b>Кафе «Молекула»</b>
11-30 – 11-45	Симонова М.А., <u>Садков Д.Ю.</u> , Каморин Д.М., Симагин А.С. <b>СТРУКТУРНО-КОНФОРМАЦИОННЫЕ И ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МОЛЕКУЛЯРНЫХ ЩЕТОК НА ОСНОВЕ ОЛИГООКСИАЛКИЛЕНОВЫХ МОНОМЕРОВ</b>	<b>2-О-01</b>
11-45 – 12-00	<u>Мясищева А.С.</u> , Петрова Ю.А., Липин В.А., Евдокимов А.Н. <b>СОРБЦИЯ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ ПОЛИМЕРОМ НА ОСНОВЕ ГЛИЦИДИЛАКРИЛАТА</b>	<b>2-О-02</b>
12-00 – 12-15	<u>Нестеров Н.Б.</u> , Кожунова Е.Ю., Иноземцева А.И., Николенко А.Д., Жванская Е.С. <b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ МЕМБРАН К РЕДОКС-АКТИВНЫМ ПОЛИМЕРАМ И МИКРОГЕЛЯМ</b>	<b>2-О-03</b>
12-15 – 12-30	<u>Рафикова А.Р.</u> , Миляева О.Ю. <b>ДИНАМИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СМЕСЕЙ ФИБРОИНА ШЕЛКА С ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ</b>	<b>2-О-04</b>
12-30 – 12-45	<u>Минеева К.О.</u> , Гук Л.Д., Ржевский С.А., Соломин И.О., Плуталова А.В., Черникова Е.В., Асаченко А.Ф. <b>КИНЕТИКА ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ ПОЛИПРОПИЛЕНКАРБОНАТА</b>	<b>2-О-05</b>
12-45 – 13-00	<u>Гостева А.А.</u> , Доммес О.А., Окатова О.В., Нестерова Н.А., Панарин Е.Ф., Разгуляева Д.Н., Клабуков А.М., Павлов Г.М. <b>ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ И КОНФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАТРИЕВОЙ СОЛИ ПОЛИ-4-МЕТАКРИЛОИЛАМИНОСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ</b>	<b>2-О-06</b>
<b>Секция 3. Полимерные композиционные материалы</b> Председатель: <u>А.Н. Бугров</u>		
14-30 – 14-50	<u>Подзорова М.В.</u> <b>ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ АГРЕССИВНЫХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b>	<b>I-01</b>
14-50 – 15-05	<u>Кунцман И.В.</u> , Николаева А.Л., Диценко А.Л., Иванькова Е.М., Власова Е.Н., Гофман И.В., Ларин С.В. <b>УГЛЕРОДНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ КАК МОДИФИКАТОРЫ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ ПОЛИИМИДОВ</b>	<b>3-О-01</b>
15-05 – 15-20	<u>Асанов Р.К.</u> , Терехов В.Е., Морозов О.С. <b>ФТАЛОНИТИРНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ ИНИЦИATOROV ПОЛИКОНДЕНСАЦИИ С ФОСФАТНЫМ ЛИНКЕРОМ</b>	<b>3-О-02</b>
15-20 – 15-35	<u>Бойченко Е.А.</u> , Бурмистров И.Н. <b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИОЛЕФИНОВЫХ ДОБАВОК НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА В РАСТИТЕЛЬНОМ МАСЛЕ УДАРОПРОЧНОГО ПОЛИСТИРОЛА</b>	<b>3-О-03</b>
15-35 – 15-50	<u>Полотнянчиков К.С.</u> , Светличный В.М., Ваганов Г.В., Камалов А.М., Попова Е.Н., Иванькова Е.М., Юдин В.Е. <b>ВОЛОКНИСТЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПЕНОМАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПЕНОПОЛИИМИДОВ</b>	<b>3-О-04</b>

<b>Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</b>		<b>Кафе «Молекула»</b>
Председатель: <u>Н.В. Дубашинская</u>		
14-30 – 14-45	<u>Боровской А.Ю.</u> , Дубашинская Н.В., Скорик Ю.А. СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ КОЛИСТИНА НА ОСНОВЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ СУЛЬФАТИРОВАННЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ И ЦИАНОКОБОЛАМИН-ХИТОЗАНА	<b>4-О-01</b>
14-45 – 15-00	<u>Кислюк М.В.</u> , Шерневич А.А., Шевченко М.А., Пристромова Ю.И., Огородников В.Э., Юркштович Т.Л., Бычковский П.М. ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРОГЕЛЯ НА ОСНОВЕ N-ТРИМЕТИЛХИТОЗАНА И АЛЬДЕГИДА ПУЛЛУЛАНА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ	<b>4-О-02</b>
15-00 – 15-15	<u>Саликова Е.П.</u> , Некрасова Т.Н., Назарова О.В., Фишер А.И. СВЯЗЫВАНИЕ ИОНОВ КАЛЬЦИЯ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИМИ ПОЛИМЕРАМИ	<b>4-О-03</b>
15-15 – 15-30	<u>Чабина А.С.</u> , Богданова Д.Н., Прасолов Н.Д., Нащенкин А.В., Нащекина Ю.А. КОМПОЗИТНЫЕ МАТРИЦЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-ε-КАПРОЛАКТОНА И ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ	<b>4-О-04</b>
15-30 – 15-45	<u>Леонович М.С.</u> , Коржиков-Влах В.А., Тенникова Т.Б. ТРЕХМЕРНЫЕ СКАФФОЛДЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ ЧАСТИЦ	<b>4-О-05</b>
15-45 – 16-00	<u>Жванская Е.С.</u> , Абрамова Т.А., Ефимова А.А., Кожунова Е.Ю. СИНТЕЗ КАТИОННЫХ МИКРОГЕЛЕЙ И ИХ КОМПЛЕКС С АНИОННЫМИ ЛИПОСОМАМИ: МЕХАНИЗМ ДВОЙНОГО ОТКЛИКА ДЛЯ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ	<b>4-О-06</b>
16-30 – 18-30	<b>СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ</b> <b>Секция 1. Синтез и модификация полимеров: 1-Р-01 – 1-Р-26</b>	
19-00 – 22-00	<b>WELCOME PARTY</b> <b>Кафе «Молекула»</b>	

## Вторник, 28 октября

Секция 5. Теория, компьютерное моделирование и машинное обучение		Конференц-зал
Председатель: <u>В.П. Тощевиков</u>		
09-45 – 10-00	<u>Муратова А.Д.</u> , Комолкин А.В., Маркелов Д.А. РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОЛНОАТОМИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСТВОРИТЕЛЯ N-МЕТИЛ-2-ПИРРОЛИДОН	5-О-01
10-00 – 10-15	<u>Иванькова Ю.И.</u> , Сорокина Л.Ю. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С КОМПОЗИТНЫМ НАНОВОЛОКНОМ НА ОСНОВЕ ПОЛИКАПРОЛАКТОНА	5-О-02
10-15 – 10-30	<u>Лукиев И.В.</u> , Борисов О.В., Жулина Е.Б., Михайлов И.В. КОНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ЩЁТОК ИЗ ГРЕБНЕОБРАЗНЫХ ДИБЛОЧНЫХ МАКРОМОЛЕКУЛ	5-О-03
10-30 – 10-45	<u>Старков Д.Е.</u> , Половников К.Е. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОНЕЧНОГО РАДИУСА КОНТАКТА И ЭКСТРУЗИИ ПЕТЕЛЬ В ИНТЕРФАЗНОМ ХРОМАТИНЕ	5-О-04
Секция 1. Синтез и модификация полимеров		Кафе «Молекула»
Председатель: <u>М.Л. Левит</u>		
09-45 – 10-00	<u>Долганов Е.Д.</u> , Павловская М.В., Гришин Д.Ф. СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ СТЕАРИЛМЕТАКРИЛАТА И АЗОТСОДЕРЖАЩИХ МОНОМЕРОВ И ПРИМЕНЕНИЕ ИХ В КАЧЕСТВЕ ПРИСАДОК К ГИДРООЧИЩЕННОМУ ДИЗЕЛЬНОМУ ТОПЛИВУ	1-О-08
10-00 – 10-15	<u>Ксендзов Е.А.</u> , Костюк С.В. СИНТЕЗ И ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ГРАФТ-СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА С БОКОВЫМИ ПОЛИЛАКТИДНЫМИ ЦЕПЯМИ	1-О-09
10-15 – 10-30	<u>Беликова И.И.</u> , Безлепкина К.А., Аристова В.А., Ардабьевская С.Н., Клокова К.С., Шкинев П.Д., Франк И.В., Андропова У.С., Дроздов Ф.В., Миленин С.А. МЕДНАЯ ПЕНА КАК КАТАЛИЗАТОР АЗИД-АЛКИНОВОГО ЦИКЛОПРИСОЕДИНЕНИЯ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ	1-О-10
10-30 – 10-45	<u>Лежнин П.П.</u> , Бермешев М.В., Андреянов Ф.А., Розова Н.С. СИНТЕЗ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ НОРБОРНЕНОВ С ДВУМЯ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИМИ ЗАМЕСТИТЕЛЯМИ	1-О-11
10-45 – 11-00	<u>Кондратьева А.А.</u> ФТАЛОНИТРИЛСОДЕРЖАЩИЕ ФОТОПОЛИМЕРНЫЕ СМОЛЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОСТОЙКИХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ СТЕРЕОЛИТОГРАФИИ	1-О-12
Пленарные доклады		Конференц-зал
Председатель: <u>А.В. Якиманский</u>		
11-30 – 12-15	<u>Полоцкий А.А.</u> , Иванова А.С. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ АДСОРБЦИИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ДЕСОРБЦИИ МУЛЬТИБЛОК-СОПОЛИМЕРОВ	PL-03
12-15 – 13-00	<u>Бурдуковский В.Ф.</u> , Холхоев Б.Ч., Бардакова К.Н., Матвеев З.А., Коркунова О.С., Коллегова М.Р., Никишина А.Н., Тимашев П.С. ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИОННАЯ 3D- И 4D-ПЕЧАТЬ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ	PL-04

<b>Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</b>		<b>Конференц-зал</b>
Председатель: Е.Г. Коржикова-Влах		
14-30 – 14-45	<u>Бокатый А.Н.</u> , Дубашинская Н.В., Скорик Ю.А. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ДЕКСАМЕТАЗОНА НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ ДЛЯ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ	<b>4-О-07</b>
14-45 – 15-00	<u>Горенинский С.И.</u> , Воробьев А.О., Акимченко И.О., Больбасов Е.Н. МЕТОД ИММОБИЛИЗАЦИИ ГИДРОКСИАПАТИТА НА ПОВЕРХНОСТИ ПОРISTЫХ ИМПЛАНТАТОВ ИЗ ФТОРПОЛИМЕРОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ FDM-ПЕЧАТИ	<b>4-О-08</b>
15-00 – 15-15	<u>Яшина Е.Г.</u> , Варфоломеева Е.Ю., Пантина Р.А., Ковалев Р.А., Федорова Н.Д., Горшкова Ю.Е., Григорьев С.В. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ХРОМАТИНА В ЯДРАХ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК МЕТОДОМ МАЛОУГЛОВОГО РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ И РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	<b>4-О-09</b>
15-15 – 15-30	<u>Джужа А.Ю.</u> , Левит М.Л., Добродумов А.В., Коржикова-Влах Е.Г. НАНОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ БИОПОДОБНЫХ СОПОЛИМЕРОВ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ	<b>4-О-10</b>
15-30 – 15-45	<u>Завражных Н.А.</u> , Попов Г.И., Юкина Г.Ю., Иванькова Е.М., Юдин В.Е. ПОЛУЧЕНИЕ БИОРЕЗОРБИРУЕМОГО КОМПОЗИТНОГО ПРОТЕЗА НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И ПОЛИКАПРОЛАКТОНА И ЕГО ОЦЕНКА В ДЛИТЕЛЬНОМ ХРОНИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ В УСЛОВИЯХ <i>IN VIVO</i>	<b>4-О-11</b>
<b>Секция 3. Полимерные композиционные материалы</b>		<b>Кафе «Молекула»</b>
Председатель: В.Ф. Бурдуковский		
14-30 – 14-45	<u>Качалова А.И.</u> , Апрятина К.В., Смирнова Л.А., Ковылин Р.С. БИОСОВМЕСТИМЫЕ ТРЕХМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И КОЛЛАГЕНА	<b>3-О-05</b>
14-45 – 15-00	<u>Просвирнина А.П.</u> , Воробьев В.К., Боброва Н.В., Сивцов Е.В., Бугров А.Н., Курындин И.С., Головин М.А., Смирнов М.А. ПОЛУЧЕНИЕ ДАТЧИКОВ РАСТЯЖЕНИЯ ИЗ ИОННЫХ ГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОВОЛОКОН БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ МЕТОДОМ 3D ПЕЧАТИ	<b>3-О-06</b>
15-00 – 15-15	<u>Сафиуллин К.Р.</u> , Сазонов О.О., Давлетбаева И.М., Зарипов И.И. СЕНСОРНЫЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ КООРДИНИРОВАННЫХ ОРГАНОЗАМЕЩЁННЫХ КРЕМНЕЗЁМОВ КАК ПЛАТФОРМА ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО АНАЛИЗА ИОНОВ МЕТАЛЛОВ	<b>3-О-07</b>
15-15 – 15-30	<u>Заярузный А.М.</u> , Терехов В.Е., Морозов О.С. ВЛИЯНИЕ ФТОРСОДЕРЖАЩЕГО АКТИВНОГО РАЗБАВИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ФТАЛОНИТРИЛЬНЫХ СМОЛ И ПОЛИМЕРОВ НА ИХ ОСНОВЕ	<b>3-О-08</b>
15-30 – 15-45	<u>Одинцова С.Е.</u> , Бурункова Ю.Э., Тараков В.Е. РЕВЕРСИВНОСТЬ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНОГО НАНОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ УРЕТАНАКРИЛАТОВ И НАНОЧАСТИЦ СУЛЬФИДА МЫШЬЯКА	<b>3-О-09</b>
15-45 – 16-00	<u>Сазонов О.О.</u> , Давлетбаева И.М. МУЛЬТИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОЛИУРЕТАНЫ НА ОСНОВЕ ИОНОГЕННЫХ ПОЛИОЛОВ	<b>3-О-10</b>
<b>СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ</b>		
16-30 – 18-30	<b>Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения: 4-Р-01 – 4-Р-24</b> <b>Секция 5. Теория, компьютерное моделирование и машинное обучение: 5-Р-01 – 5-Р-08</b>	

## Среда, 29 октября

<b>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</b> Председатель: <u>А.Г. Иванов</u>		<b>Конференц-зал</b>
09-45 – 10-00	<u>Юдин В.В.</u> , Храмова Д.В., Ковылин Р.С., Чесноков С.А. ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ОЛИГОКАРБОНАТДИМЕТАКРИЛАТА ОКМ-2 С ДОБАВКАМИ ИЗОДЕЦИЛМЕТАКРИЛАТА	<b>1-О-13</b>
10-00 – 10-15	<u>Козина Н.Д.</u> , Блохин А.Н., Теньковцев А.В. МИКТОЛУЧЕВЫЕ ЗВЕЗДООБРАЗНЫЕ ПОЛИМЕРЫ	<b>1-О-14</b>
10-15 – 10-30	<u>Боровой Г.С.</u> , Вайтусёнок А.А., Кашина А.В., Якиманский А.В., Костюк С.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНOKАТАЛИЗИРУЕМОЙ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ С ПЕРЕНОСОМ АТОМА МЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ	<b>1-О-15</b>
10-30 – 10-45	Хавпачев М.А., Малык Б.В., Беканова М., <u>Поцелеев В.В.</u> МЕХАНОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ АЦИЛИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ХИТОЗАНА	<b>1-О-16</b>
10-45 – 11-00	<u>Аристова В.А.</u> , Беликова И.И., Ульянкин Р.В., Клокова К.С., Безлепкина К.А., Миленин С.А. ПОЛУЧЕНИЕ ОРГАНОТРИАЗОЛТРИЭТОКСИСИЛАНОВ МЕТОДОМ ГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ ПОЛИКОНДЕНСАЦИИ	<b>1-О-17</b>
11-00 – 11-15	<u>Иванова Т.А.</u> , Гульник М.И., Костюк С.В. ФОТОИНИЦИИРУЕМАЯ КАТИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ СТИРОЛА	<b>1-О-18</b>
<b>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов</b> Председатель: <u>Р.Ю. Смыслов</u>		<b>Кафе «Молекула»</b>
09-30 – 09-45	<u>Крафт В.Е.</u> , Ваганов Г.В., Красилина Д.А., Донда Е.А., Красилин А.А. ТЕРМОСТОЙКИЕ ПОЛИИМИДНЫЕ НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СЕПАРАТОРОВ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ	<b>2-О-07</b>
09-45 – 10-00	<u>Макурин И.С.</u> , Липин В.А., Петрова Ю.А., Пошивна Т.А., Мальцева Н.А., Вишневская Т.А. СИНТЕЗ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В КАТАЛИЗЕ ПОЛИАМФОЛИТ-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	<b>2-О-08</b>
10-00 – 10-15	<u>Калинин Н.С.</u> , Губарев А.С., Михайлова М.Е., Власов П.С., Цветков Н.В., Челушкин П.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АРХИТЕКТУРЫ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ КАПРОЛАКТОНА И ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ НА ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО КОМПЛЕКСА Ir(III), ВНЕДРЕННОГО В ИХ МИЦЕЛЛЫ	<b>2-О-09</b>
10-15 – 10-30	<u>Шапиро И.Д.</u> , Плюснина И.О., Шапагин А.В. ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОНОМЕРА В СТОМАТОЛОГИЧЕСКОМ АДГЕЗИВЕ НА ХИМИЧЕСКУЮ АДГЕЗИЮ К ДЕНТИНУ	<b>2-О-10</b>
10-30 – 10-45	<u>Кабанова В.А.</u> , Грибкова О.Л., Родина Е.И. Тамеев А.Р. КОМПЛЕКСЫ ПОЛИАНИЛИНА С ПОЛИСУЛЬФОКИСЛОТАМИ КАК ДЫРОЧНО-ТРАНСПОРТНЫЕ СЛОИ ДЛЯ ПЕРОВСКИТНЫХ ДИОДНЫХ УСТРОЙСТВ	<b>2-О-11</b>
10-45 – 11-00	<u>Садыкова Д.А.</u> , Алентьев Д.А., Никифоров Р.Ю., Бермешев М.В., Алентьев А.Ю. СОЗДАНИЕ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПОЛИНОРБОРНЕНОВ С ТРИЭТИЛЕНГЛИКОЛЕВЫМИ ФРАГМЕНТАМИ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ CO <sub>2</sub>	<b>2-О-12</b>

<b>Пленарные доклады</b>		<b>Конференц-зал</b>
Председатель: <u>С.В. Ларин</u>		
11-30 – 12-15	Буглаков А.И., Лелекова В.А., Рудяк В.Ю., Гаврилов А.А., <u>Чертович А.В.</u> САМООРГАНИЗАЦИЯ В ПОЛИМЕРНЫХ АКТИВНЫХ СРЕДАХ	<b>PL-05</b>
12-15 – 13-00	<u>Шиповская А.Б.</u> , Луговицкая Т.Н., Шипенок К.М., Ушакова О.С. ПРОТИВОИОННАЯ АССОЦИАЦИЯ КАК СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ХИРАЛЬНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ НАНОЧАСТИЦ АСПАРАГИНАТА ХИТОЗАНА	<b>PL-06</b>
<b>Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</b>		
Председатель: <u>А.Б. Шиповская</u>		<b>Конференц-зал</b>
14-30 – 14-45	<u>Новикова В.П.</u> , Дубашинская Н.В., Скорик Ю.А. САМОСОБИРАЮЩИЕСЯ ЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ КОНЬЮГАТОВ ПРЕДНИЗОЛОНА С ХИТОЗАНОМ ДЛЯ БИМОДАЛЬНОЙ ДОСТАВКИ ГЛЮКОКОРТИКОСТЕРОИДОВ	<b>4-О-12</b>
14-45 – 15-00	<u>Соколов А.С.</u> , Порошин С.Г., Абдурашитов А.С., Прошин П.И., Сухоруков Г.Б. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МИКРОГЕЛЕЙ АЛЬГИНАТА ЖЕЛЕЗА СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ИНКАПСУЛЯЦИИ КЛЕТОК И ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ	<b>4-О-13</b>
15-00 – 15-15	<u>Гуляев И.А.</u> , Сокол М.Б., Камаева О.Е., Клименко М.А., Моллаева М.Р., Яббаров Н.Г., Чиркина М.В., Никольская Е.Д. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЭКСКЛЮЗИОННОЙ ХРОМАТОГРАФИИ И ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ НАНОЧАСТИЦ PLGA И БЕЛКОВОЙ КОРОНЫ	<b>4-О-14</b>
15-15 – 15-30	<u>Гридасова К.Ж.</u> , Степаненко Ольга В., Сулацкий М.И., Михайлова Е.В., Сулацкая А.И., Степаненко Олеся В. ВЛИЯНИЕ АТФ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА АМИЛОИДНЫХ ФИБРИЛЛ НА ОСНОВЕ ЛИЗОЦИМА И ЗЕЛЕНОГО ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО БЕЛКА	<b>4-О-15</b>
15-30 – 15-45	<u>Кайда А.А.</u> , Сулацкий М.И., Степаненко Ольга В., Степаненко Олеся В., Сулацкая А.И. КОНЦЕНТРАЦИОННО-ЗАВИСИМОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ДЕНАТУРИРУЮЩЕГО АГЕНТА ГУАНИДИН ГИДРОХЛОРИДА НА СТАБИЛЬНОСТЬ АМИЛОИДНЫХ ФИБРИЛЛ	<b>4-О-16</b>
<b>Секция 5. Теория, компьютерное моделирование и машинное обучение Кафе «Молекула»</b>		
Председатель: <u>А.В. Чертович</u>		
14-30 – 14-50	Федурова Ю.В., <u>Глаголев М.К.</u> БАЙЕСОВСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛИМЕРОВ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ	<b>I-02</b>
14-50 – 15-05	<u>Волгин И.В.</u> , Клужин Л.И., Люлин С.В. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ ГАЗОВ В СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ПОЛИСУЛЬФОНА И АСФАЛЬТЕНОВ	<b>5-О-05</b>
15-05 – 15-20	<u>Буглаков А.И.</u> , Белкина К.А., Василевская В.В. НАПРАВЛЕННЫЙ ПОИСК ВЕЗИКУЛЯРНЫХ СТРУКТУР В РАСТВОРАХ АМФИФИЛЬНЫХ СОПОЛИМЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРСИСТЕНТНЫХ ДИАГРАММ	<b>5-О-06</b>
15-20 – 15-35	<u>Гумеров Р.А.</u> , Ужегов А.А., Бушуев Н.В., Анахов М.В., Рудяк В.Ю., Потемкин И.И. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АМФИФИЛЬНЫХ МИКРОГЕЛЕЙ С ГИДРОФОБНЫМИ МАКРОМОНОМЕРАМИ И МАКРОСШИВАТЕЛЯМИ	<b>5-О-07</b>
15-35 – 15-50	<u>Пруссий А.И.</u> , Токко О.В., Кадетова А.В., Котельникова Н.Е., Киселев В.В. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОРОШКОВЫХ НАНОЦЕЛЛЮЗ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ И КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	<b>5-О-08</b>

15-50 – 16-05	<u>Курбатов А.О.</u> , Литвин К.А., Балабаев Н.К., Баскаль Ф.В., Крамаренко Е.Ю. ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ НА КОНФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ НА МЕЖФАЗНЫХ ГРАНИЦАХ ВОДА-ТОЛУОЛ И ВОДА-ВАКУУМ КАРБОСИЛАНОВЫХ ДЕНДРИМЕРОВ С ГИДРОКСИЛЬНЫМИ ГРУППАМИ В КОНЦЕВЫХ СЕГМЕНТАХ	<b>5-О-09</b>
16-35 – 18-30	<b>СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ</b> <b>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров и применение полимерных материалов: 2-Р-01 – 2-Р-17</b> <b>Секция 3. Полимерные композиционные материалы: 3-Р-01 – 3-Р-11</b>	

## Четверг, 30 октября

<b>Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</b>		<b>Конференц-зал</b>
Председатель: <u>Е.С. Синицына</u>		
09-45 – 10-00	<u>Устюхина И.С.</u> , Дубашинская Н.В., Петрова В.А., Скорик Ю.А. ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ХИТИНА/ХИТОЗАНА С СУЛЬФАТИРОВАННЫМИ ПОЛИСАХАРИДАМИ: МОДИФИКАЦИЯ Cu <sup>2+</sup> ДЛЯ ПРОЛОНГИРОВАННОЙ ДОСТАВКИ МЕТРОНИДАЗОЛА	<b>4-О-17</b>
10-00 – 10-15	<u>Мельник Е.Ю.</u> , Ахмедов Ш.Д., Луговский В.А., Степанов И.В., Ионова М.А., Козлов Б.Н., Бузник В.М., Больбасов Е.Н. ИСКУССТВЕННЫЙ ПЕРИКАРД ИЗ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА (ПТФЭ) ИЗГОТОВЛЕННЫЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ: ИССЛЕДОВАНИЕ МЕСТНОЙ РЕАКЦИИ ТКАНЕЙ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ	<b>4-О-18</b>
10-15 – 10-30	<u>Доля Д.А.</u> , Зубарева А.А., Скорик Ю.А. КОНСТРУИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРНО-ПЕПТИДНОГО НОСИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА ДЛЯ ПЕРОРАЛЬНОЙ ДНК-ВАКЦИНАЦИИ	<b>4-О-19</b>
10-30 – 10-45	<u>Багаева И.О.</u> , Синицына Е.С., Силенов С.А., Коржикова-Влах Е.Г. СИСТЕМЫ КОМБИНИРОВАННОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ НА ОСНОВЕ АМФИФИЛЬНЫХ КАТИОННЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИ(ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ), ПОЛИ(ε-КАПРОЛАКТОНА) И ПОЛИ(L-ЛИЗИНА)	<b>4-О-20</b>
<b>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</b>		<b>Кафе «Молекула»</b>
Председатель: <u>А.Л. Диценко</u>		
09-30 – 09-45	<u>Левит С.И.</u> , Фетин П.А., Кадников М.В., Зорин И.М. ГРЕБНЕОБРАЗНЫЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТЫ НА ОСНОВЕ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ АКРИЛОВОЙ И МЕТААКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ	<b>1-О-19</b>
09-45 – 10-00	<u>Ященко Д.В.</u> , Смыслов Р.Ю., Ваганов Г.В., Бугров А.Н. СИНТЕЗ И ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МУЛЬТИБЛОЧНЫХ АНТРАЦЕНСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИУРЕТАНОВ	<b>1-О-20</b>
10-00 – 10-15	<u>Шарайчук А.Д.</u> , <u>Белоусов Г.К.</u> , Вайтусёнок А.А., Костюк С.В. ПОЛИМЕРЫ СТИРОЛЬНОГО ТИПА НА ОСНОВЕ ЗАМЕЩЁННОГО БЕНЗОНИТРИЛА КАК ЭМИТТЕРЫ ДЛЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СВЕТОДИОДОВ	<b>1-О-21</b>
10-15 – 10-30	<u>Крылов Ф.Д.</u> , Беликова И.И., Безлекина К.А., Ардабьевская С.Н., Миленин С.А., Музрафов А.М. ТИОЛ-ЕН ПРИСОЕДИНЕНИЕ МЕРКАПТОКИСЛОТ К АЛЛИЛСИЛАНАМ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛ И ПОЛИМЕРОВ	<b>1-О-22</b>
10-30 – 10-45	<u>Горовая Е.М.</u> , Кондратьева А.А. МЕТААКРИЛАТ- И МЕТААКРИЛАМИД-ФТАЛОНИТРИЛЬНЫЕ ФОТОПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ СТЕРЕОЛИТОГРАФИИ	<b>1-О-23</b>
<b>Секция 3. Полимерные композиционные материалы</b>		<b>Конференц-зал</b>
Председатель: <u>Г.В. Ваганов</u>		
12-30 – 12-45	<u>Киянкин П.А.</u> , Котельникова А.А., Ковылин Р.С. РАЗРАБОТКА СУСПЕНЗИЙ НА ОСНОВЕ ДИ(МЕТ)АКРИЛАТА БУТАНДИОЛА, НАПОЛНЕННЫХ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИКИ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ DLP	<b>3-О-11</b>
12-45 – 13-00	<u>Вавилова В.Д.</u> , Примаченко О.Н., Мариненко Е.А., Кононова С.В., Клечковская В.В. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЕРФТОРИРОВАННЫХ МЕМБРАН, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИВИНИЛОВЫМ СПИРТОМ, СШИТЫМ СУЛЬФОСУКЦИНОВОЙ КИСЛОТОЙ	<b>3-О-12</b>
13-00 – 13-15	<u>Подзорова М.В.</u> , Тертышная Ю.В., <u>Суханов И.А.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ БИОДЕСТРУКЦИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРОВ	<b>3-О-13</b>

13-15 – 13-30	<u>Гогунов М.Е.</u> , Соловьева А.В., Полоцкая Г.А., Пулялина А.Ю. КОМПОЗИТЫ ПОЛИЛАКТИД – МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИЕ КАРКАСЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ГАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ	<b>3-О-14</b>
13-30 – 13-45	<u>Мухин А.Е.</u> , Калашникова Г.О., Пулялина А.Ю. ГИБРИДНАЯ МЕМБРАНА ИЗ СОПОЛИИМИДА С ДОБАВКАМИ ТИТАНОСИЛИКАТНОГО МИНЕРАЛА	<b>3-О-15</b>
13-45 – 14-00	<u>Федорова С.В.</u> , Петрова Ю.А., Липин В.А. ГИДРОФОБНОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ ГЛИЦИДИЛАКРИЛАТА	<b>2-О-13</b>
14-00 – 14-15	<u>Коновалов Д.С.</u> , Зуев В.В. МЕХАНИКА САМОЗАЖИВЛЕНИЯ ОКСИМ-ПОЛИУРЕТАНА ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО СЫРЬЯ	<b>2-О-14</b>
14-15 – 14-30	<u>Бурьянская Е.Л.</u> , Кондрашов С.В., Симонов А.Д., Осипков А.С., Макеев М.О. ВЛИЯНИЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕНЕГТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРА ВИНИЛИДЕНФТОРИДА С ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНОМ	<b>2-О-15</b>
<b>Закрытие конференции</b>		

# СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

## Секция 1. Синтез и модификация полимеров

- 1-P-01** Блохин А.Н., Разина А.Б., Кирилэ Т.Ю., Филиппов А.П., Теньковцев А.В.  
СИНТЕЗ ЗВЕЗДООБРАЗНЫХ ПОЛИСТИРОЛОВ МЕТОДОМ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ С ПЕРЕНОСОМ ЦЕПЕЙ НА СУЛЬФОНИЛХЛОРИДЫ
- 1-P-02** Богдан Н.С., Клачёк М.А., Шиман Д.И., Костюк С.В.  
КОНТРОЛИРУЕМАЯ КАТИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ИЗОБУТИЛЕНА В УГЛЕВОДОРОДНЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ
- 1-P-03** Вагин А.А., Красова А.С., Тарабукина Е.Б., Панарин Е.Ф.  
СИНТЕЗ 4-МЕТАКРИЛАМИДОФЕНИЛСУЛЬФОНАТА НАТРИЯ И ЕГО (СО)ПОЛИМЕРОВ С МЕТАКРИЛАТОМ НАТРИЯ
- 1-P-04** Васильев Б.В., Попова Е.Н., Гофман И.В., Светличный В.М., Бугров А.Н.  
ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ДИАНГИДРИДА НА ТЕРМИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕГМЕНТНЫХ ПОЛИМОЧЕВИНИМИДОВ
- 1-P-05** Вихирева А.Д., Лешина М.Н., Генералова Е.Н., Ширшин К.В.  
ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СИНТЕЗА ТЕТРАПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ 2-ЭТИЛГЕКСИЛАКРИЛАТА, ВИНИЛАЦЕТАТА, МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА И АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ
- 1-P-06** Власов А.М., Власова А.О., Зайцев С.Д.  
СИНТЕЗ рН-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ АГЕНТОВ ОБРАТИМОЙ ПЕРЕДАЧИ ЦЕПИ И ИЗУЧЕНИЕ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ПОЛИМЕРИЗАЦИЮ ВИНИЛОВЫХ МОНОМЕРОВ
- 1-P-07** Власова А.О., Краснова В.В., Чичаров А.А., Зайцев С.Д.  
PET-RAFT ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА В ПРИСУТСТВИИ ДИОКСИДА ТИТАНА И ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЕГО ОСНОВЕ
- 1-P-08** Гудкин А.В., Крыгина Д.М., Сивцов Е.В.  
КОНТРОЛИРУЕМАЯ РАДИКАЛЬНАЯ ГОМОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ 2-МЕТИЛ-5-ВИНИЛТETРАЗОЛА В ПРИСУТСТВИИ 2-((ДОДЕЦИЛТИО)КАРБОНОТИОЛУТИО)-2-МЕТИЛПРОПАНОВОЙ КИСЛОТЫ
- 1-P-09** Есаев М.А., Киселёва А.А., Шиман Д.И., Костюк С.В.  
СИНТЕЗ МОНОДИСПЕРСНЫХ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ МИКРОСФЕР МЕТОДОМ ДИСПЕРСИОННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ
- 1-P-10** Иванова А.С., Диценко А.Л., Камалов А.М., Сапрыкина Н.Н., Юдин В.Е., Светличный В.М., Кудрявцев В.В.  
ПОЛИИМИДНЫЕ ПОРИСТЫЕ ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ПОЛИИМИДОВ И СОПОЛИ(УРЕТАН-ИМИДОВ), ПОДВЕРГНУТЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СЕЛЕКТИВНЫМ ПРОЦЕССАМ ТЕРМОЛИЗА, ХЕМОЛИЗА И ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ТРАВЛЕНИЯ
- 1-P-11** Иванова А.С., Крафт В.Е., Нащекина Ю.А., Диценко А.Л., Ваганов Г.В., Попова Е.Н., Светличный В.М., Юдин В.Е., Кудрявцев В.В.  
БИОСОВМЕТИМЫЕ СОПОЛИ(УРЕТАН-ИМИДЫ) НА ОСНОВЕ КАСТОРОВОГО МАСЛА
- 1-P-12** Иванова Е.А., Беканова М.З., Власов Е.И., Сименидо Г.А., Кожунова Е.Ю., Плуталова А.В., Черникова Е.В.  
СИНТЕЗ ЛИНЕЙНЫХ (СО)ПОЛИМЕРОВ ПОЛИ(Н-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА) В ВОДНЫХ СРЕДАХ МЕТОДОМ ОПЦ-ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

- 1-Р-13** Ильина К.И., Жукова Е.В., Чулкова Т.Г., Якиманский А.А., Кашина А.В., Колесников И.Е., Мартыненков А.А., Жданов А.П., Якиманский А.В.  
ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ СОПОЛИФЛУОRENOV, АКТИВИРОВАННЫХ КЛАСТЕРАМИ БОРА, НАНОЧАСТИЦАМИ ЗОЛОТА
- 1-Р-14** Каскевич К.И., Жукова Е.В., Якиманский А.А., Кашина А.В., Чулкова Т.Г., Якиманский А.В.  
СОПОЛИФЛУOREНЫ С ЦЕФАЛОСПОРИНОВЫМИ ФРАГМЕНТАМИ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ХЕМОСЕНСОРОВ НА ТУБЕРКУЛЕЗ
- 1-Р-15** Козина Н.Д., Кирилэ Т.Ю., Филиппов А.П., Теньковцев А.В.  
ЗВЕЗДООБРАЗНЫЕ ПОЛИ-2-АЛКИЛ-5,6-ДИГИДРО-4Н-ОКСАЗИНЫ С АЗАЦИКЛОФАНОВЫМ ЯДРОМ
- 1-Р-16** Ланкина Ю.И., Ксендзов Е.А., Костюк С.В., Кирилэ Т.Ю., Филиппов А.П.  
АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ГРАФТ-СОПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИКАПРОЛАКТОНА И ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛА
- 1-Р-17** Ли Баого, Малык Б.В., Кузнецов В.В., Хавпачев М.А.  
ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА N-АЦИЛИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ХИТОЗАНА
- 1-Р-18** Матвиенко В.Д., Никифоров А.А., Коржикова-Влах Е.Г.  
СИНТЕЗ 3,6-БИС(БРОММЕТИЛ)-1,4-ДИОКСАН-2,5-ДИОНА И ЕГО СОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ С D,L ЛАКТИДОМ
- 1-Р-19** Осетров К.О., Ульянова Н.Ю.  
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СУЛЬФИРОВАННЫХ ПОЛИКАРБОКСИЛАТНЫХ ЭФИРОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ
- 1-Р-20** Руденок К.С., Рахманов А.А., Поляков И.В., Камалов А.М., Бугров А.Н.  
ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СЕГМЕНТНЫХ СОПОЛИУРЕТАНМОЧЕВИН И ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА
- 1-Р-21** Степанов К.Н., Власова А.О., Зайцев С.Д.  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КУМИЛДИТИОБЕНЗОАТА В PET-RAFT ПОЛИМЕРИЗАЦИИ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА
- 1-Р-22** Трофимук Д.В., Гульник М.И., Костюк С.В.  
ФОТОИНИЦИИРУЕМАЯ В ДИАПАЗОНЕ ВИДИМОГО СВЕТА КАТИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ β-ПИНЕНА
- 1-Р-23** Ульянкин Р.В., Беликова И.И., Аристова В.А., Безлепкина К.А., Крылов Ф.Д., Мигулин Д.А., Костров В.А., Ханин Д.А., Миленин С.А.  
СИНТЕЗ ЭЛАСТОМЕРОВ НА ОСНОВЕ ТРИАЗОЛСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИДИМИТИСИЛОКСАНОВ
- 1-Р-24** Хабарова К.В., Власова А.О., Власов А.М., Зайцев С.Д.  
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И ТРЕТЬБУТИЛАКРИЛАТА В ПРИСУТСТВИИ рН-ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ АГЕНТОВ ОБРАТИМОЙ ПЕРЕДАЧИ ЦЕПИ
- 1-Р-25** Хиль А.М., Яковлев В.В., Сивцов Е.В.  
ДИЗАЙН НОВЫХ АГЕНТОВ ОБРАТИМОЙ ПЕРЕДАЧИ ЦЕПИ ДЛЯ RAFT ПОЛИМЕРИЗАЦИИ КАК СПОСОБ КОНЦЕВОЙ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРОВ
- 1-Р-26** Чернова Л.М., Валуева С.В., Морозова П.Ю., Вылегжанина М.Э.  
ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОДЕГРАДАЦИИ ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СЕЛЕНСОДЕРЖАЩЕЙ НАНОСИСТЕМЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОМ

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

- 2-Р-01** Быкова Е.Н., Назарычев В.М., Гофман И.В., Диденко А.Ю., Камалов А.М., Абалов И.В., Иванова А.С.  
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СМЕСЕЙ ПОЛИИМИДОВ: ЭКСПЕРИМЕНТ И АТОМИСТИЧЕСКОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
- 2-Р-02** Герасимов Д.И., Курындина И.С., Бронников С.В.  
ДИНАМИКА МАКРОМОЛЕКУЛ И ЕЕ РОЛЬ В ПОЛИМОРФНОМ ПЕРЕХОДЕ В ПЛЕНКАХ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА ПРИ ИХ РАСТЯЖЕНИИ
- 2-Р-03** Гостева А.А., Доммес О.А., Окатова О.В., Павлов Г.М.  
СВОЙСТВА МАКРОМОЛЕКУЛ КАРБОКСИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА ХИТИН/ХИТОЗАНА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ
- 2-Р-04** Безрукова М.А., Киппер А.И., Дубров Е.Н., Иванов А.Г.  
ВЗАИМОСВЯЗЬ МОЛЕКУЛЯРНЫХ И РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ИМИНОКОМПЛЕКСОВ ВАНАДИЯ (IV) С ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМ КАЧЕСТВОМ СИСТЕМЫ
- 2-Р-05** Каскевич К.И., Симонова М.А., Садков Д.Ю., Филиппов А.П., Якиманский А.В.  
СТРУКТУРНО-КОНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МОЛЕКУЛЯРНЫХ ЩЕТОК НА ОСНОВЕ ПОЛИФЛУОРЕНА
- 2-Р-06** Кириллов А.С., Горшков Н.И., Красиков В.Д.  
НАСТРОЙКА ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ СВЕРХСШИТЫХ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ СОРБЦИИ РИФАМПИЦИНА ИЗ ВОДНЫХ СРЕД
- 2-Р-07** Киселева Е.И., Фетин П.А., Зорин И.М.  
ПОЛИМЕРНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ОРГАНИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В ВОДЕ
- 2-Р-08** Костерова О., Лютова Ж.Б.  
РАДИАЦИОННАЯ МОДИФИКАЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО УЛУЧШЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОЛОКОН ИЗ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА
- 2-Р-09** Минов А.Е., Фетин П.А., Зорин И.М.  
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГИДРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛАМИДА С ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫМИ МОНОМЕРАМИ
- 2-Р-10** Перун А.В., Фетин П.А., Зорин И.М.  
МИЦЕЛЛЯРНЫЙ КАТАЛИЗ В ПРИСУТСТВИИ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ И ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ПАВ
- 2-Р-11** Плющенко А.В., Травин И.В., Гаркушина И.С.  
ИЗОТЕРМЫ СОРБЦИИ КАНАМИЦИНА А МОЛЕКУЛЯРНО ИМПРИНТИРОВАННЫМ И НЕИМПРИНТИРОВАННЫМ ПОЛИМЕРАМИ С РАЗЛИЧНЫМ РАЗМЕРОМ ГРАНУЛ
- 2-Р-12** Поляков И.В., Садков Д.Ю., Симонова М.А., Ваганов Г.В., Диденко А.Л., Попова Е.Н., Елоховский В.Ю.  
ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ ПОЛИАМИДОКИСЛОТ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЧАСТИЧНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПЛАВКОГО ПОЛИИМИДА
- 2-Р-13** Пуртова А.А., Липин В.А., Петрова Ю.А.  
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ГЛИЦИДИЛАКРИЛАТА

- Симонова М.А., Садков Д.Ю., Каморин Д.М., Симагин А.С.  
СТРУКТУРНО-КОНФОРМАЦИОННЫЕ И ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ  
СВОЙСТВА НОВЫХ ИОНЕНСОДЕРЖАЩИХ ВОДОРАСТВОРИМЫХ  
МОЛЕКУЛЯРНЫХ ЩЕТОК НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ ГИДРОФИЛЬНЫХ  
МАКРОМОНОМЕРОВ МЕТОКСИОКСИОЛИГО(ЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ),  
ГИДРОФОБНОГО АЛКОКСИОЛИГО(ЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ)МЕТАКРИЛАТА
- 2-Р-14**
- Светлова К.И., Гаркушина И.С.  
**2-Р-15** ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОЛЕКУЛЯРНО  
ИМПРИНТИРОВАННЫХ ГЛЮКОЗОЙ ПОЛИМЕРОВ
- Сяглова Е.Д., Пирязев А.А., Иванов Д.А.  
**2-Р-16** ЭВОЛЮЦИЯ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ИНДУСТРИАЛЬНО  
ЗНАЧИМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ХОДЕ БЫСТРЫХ НАГРЕВОВ И  
ОХЛАЖДЕНИЙ
- Кирилэ Т.Ю., Титика С.Ю., Ксендзов Е.А., Ланкина Ю.И., Костюк С.В., Филиппов А.П.  
**2-Р-17** ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЩЕТКИ НА ОСНОВЕ Н-  
ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА: СТРУКТУРА И САМООРГАНИЗАЦИЯ В  
РАСТВОРАХ

### **Секция 3. Полимерные композиционные материалы**

- 3-Р-01** Биккинин М.А., Романов С.Н., Ларионов И.С., Балькаев Д.А., Амирова Л.М.,  
Антипин И.С.  
ТЕХНОЛОГИЯ 3D ПЕЧАТИ ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИДОМ
- 3-Р-02** Бойченко Е.А., Бурмистров И.Н.  
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИОЛЕФИНОВЫХ ДОБАВОК НА  
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА В РАСТИТЕЛЬНОМ МАСЛЕ УДАРОПРОЧНОГО  
ПОЛИСТИРОЛА
- 3-Р-03** Бородина А.М., Костромин С.В., Саяров И.Р., Тамеев А.Р., Бронников С.В.  
ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СВЕТОДИОДОВ С  
ИЗЛУЧАЮЩИМ СЛОЕМ, СОДЕРЖАЩИМ УГЛЕРОДНЫЕ КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ
- 3-Р-04** Блинов А.В., Русев Н.А., Бочаров Н.М., Андиралов А.Ю., Лазырин М.Е.  
ТРЁХМЕРНЫЕ БИОПОЛИМЕРНЫЕ СКАФФОЛД-МАТРИКСЫ, ОБОГАЩЁННЫЕ  
НАНОЧАСТИЦАМИ ОСТЕОТРОПНЫХ МИКРОНУТРИЕНТОВ
- 3-Р-05** Буслав Д.Л., Власова Е.Н., Курындин И.С., Бочек А.М.  
ПОЛИУРЕТАНОВЫЕ ПЛЕНКИ, ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ СМЕСЕЙ  
ГИДРОКСИПРОПИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ С ДИИЗОЦИАНАТОМ В ОБЩЕМ  
РАСТВОРИТЕЛЕ ДИМЕТИЛАЦЕТАМИДЕ
- 3-Р-06** Виноградова В.О., Николаева М.Н., Бугров А.Н.  
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ СВОЙСТВ  
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИСТИРОЛА И  
УГЛЕРОДНЫХ НАНОНАПОЛНИТЕЛЕЙ
- 3-Р-07** Карпухин О.Р., Никитин А.П., Бородина А.М., Пулялина А.Ю.  
ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК НА ТРАНСПОРТНЫЕ  
СВОЙСТВА ПОЛИФЕНИЛЕНОКСИДА
- 3-Р-08** Никифоров А.А., Степanova М.А., Назаров Д.В., Максимов М.Ю., Нащекина Ю.А.,  
Власова Е.Н., Коржикова Влах Е.Г.  
РАЗРАБОТКА МЕТОДА МНОГОЭТАПНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ  
ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОАКТИВНЫХ ИМПЛАНТАТОВ

- 3-Р-09** Рахманов А.А., Бугров А.Н.  
ВЛИЯНИЕ ГРАФЕНОВОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА ФИЗИКО МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ
- 3-Р-10** Подзорова М.В., Тертышная Ю.В., Суханов И.А.  
АНАЛИЗ ПОДВЕРЖЕННОСТИ ФОТОДЕСТРУКЦИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРОВ
- 3-Р-11** Хасанов К.А., Леушкин П.Н., Зимин К.С., Ларионов И.С., Балькаев Д.А., Амирова Л.М., Антипин И.С.  
ПОЛУЧЕНИЕ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИДА

#### **Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения**

- 4-Р-01** Бокатый А.Н., Дубашинская Н.В., Новикова В.П., Скорик Ю.А.  
РАЗРАБОТКА БИОПОЛИМЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ДЕКСАМЕТАЗОНА К ВНУТРЕННЕМУ УХУ С ПОВЫШЕННОЙ АДГЕЗИВНОЙ И ПРОНИКАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ
- 4-Р-02** Гайкович М.В.  
ИОННЫЕ ЖИДКОСТИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГЕМОСТАТИЧЕСКИХ ГИДРОГЕЛЕЙ ИЗ МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ
- 4-Р-03** Зеленов В.А., Хайдаров Т.Б., Тюрин И.А., Бурмистров И.Н.  
РАЗРАБОТКА БИОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА С АНТИСЕПТИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИБОРОВ
- 4-Р-04** Иванов Е.М., Паршина А.Э., Еремин А.В.  
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГЛУБОКОГО ОКИСЛЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ
- 4-Р-05** Исаков Н.А., Белоусов М.В., Нижников А.А., Носков Б.А.  
СВОЙСТВА СЛОЕВ ВИЦИЛИНА И ЕГО ДОМЕНОВ КУПИНА-1.1 И КУПИНА-1.2 НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ И 8М МОЧЕВИНЫ
- 4-Р-06** Крайнова Ю.М., Малык Б.В., Хавпачев М.А.  
МЕХАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ БЕНЗОКАИНА И ПОЛИСАХАРИДОВ
- 4-Р-07** Круглов С.С., Данилова А.Б., Валуева С.В., Морозова П.Ю., Панченко А.В.  
СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВОБОДНОГО РАДАХЛОРИНА И ВХОДЯЩЕГО В СОСТАВ СЕЛЕНСОДЕРЖАЩИХ НАНОСИСТЕМ НА КУЛЬТУРАХ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА
- 4-Р-08** Кукарцева О.В., Больбасов Е.Н., Бузник В.М.  
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА МЕМБРАНЫ ИЗ СОПОЛИМЕРА ВИНИЛИДЕНФТОРИДА С ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНОМ ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ
- 4-Р-09** Курилова Д.М., Курилова Н.М., Сафонов А.П.  
ТЕРМОДИНАМИКА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ ПОЛИГАЛАКТУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ
- 4-Р-10** Курилова Н.М., Сафонов А.П., Шкляр Т.Ф.  
ГИДРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛАМИДА И АЛЬГИНАТА КАЛЬЦИЯ: ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

- 4-Р-11** Левшицкая Т.А., Пошина Д.Н., Скорик Ю.А.  
**ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОФОРМОВАИЯ ХИТОЗАНА С ЧАСТИЦАМИ ОКСИДА ЦИНКА**
- 4-Р-12** Лунева О.В., Багрий И.В., Сивцов Е.В., Коржикова-Влах Е.Г.  
**ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ИНЬЕКЦИОННЫЕ ГИДРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ ЖЕЛАТИНА, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ПОЛИ(Н-ИЗОПРОПИЛАКРИЛМИДОМ)**
- 4-Р-13** Мартынюк В.А., Ефимова С.С., Козина Н.Д., Кирилэ Т.Ю., Филиппов А.П., Остроумова О.С.  
**КОМПЛЕКСЫ ЗВЕЗДООБРАЗНЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИ(2-АЛКИЛ-2-ОКСАЗИНА) И КУРКУМИНА СПОСОБНЫ ИЗМЕНЯТЬ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ЛИПИДНЫХ МЕМБРАН**
- 4-Р-14** Никифоров А.А., Степанова М.А., Назаров Д.В., Максимов М.Ю., Нащекина Ю.А., Власова Е.Н., Коржикова Влах Е.Г.  
**РАЗРАБОТКА МЕТОДА МНОГОЭТАПНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОАКТИВНЫХ ИМПЛАНТАТОВ**
- 4-Р-15** Попугаев А.В., Лютова Ж.Б.  
**ИЗУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ИЗДЕЛИЯ ИЗ БИОСОВМЕСТИМЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-L-ЛАКТИДА**
- 4-Р-16** Поцелеев В.В., Успенский С.А.  
**ИНКАПСУЛЯЦИЯ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ НЕЙТРОН-ЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ В БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ**
- 4-Р-17** Родченко С.В., Кирилэ Т.Ю., Филиппов А.П., Теньковцев А.В.  
**ПОВЕДЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИ-2-АЛКИЛ-5,6-ДИГИДРООКСАЗИНОВ С КУРКУМИНОМ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ**
- 4-Р-18** Родченко С.В., Соколова М.П., Смирнов М.А., Кирилэ Т.Ю., Теньковцев А.В., Филиппов А.П.  
**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В РАСТВОРАХ ПОЛИОКСАЗАЛИНОВ МЕТОДОМ АСМ**
- 4-Р-19** Саликова Е.П., Некрасова Т.Н., Буянов А.Л., Фишер А.И., Назарова О.В.  
**СВЯЗЫВАНИЕ ИОНОВ КАЛЬЦИЯ ГИДРОГЕЛЯМИ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**
- 4-Р-20** Соломаха О.А., Степанова М.А., Никифоров А.А., Нащекина Ю.А., Егорова Т.С., Демьянова Е., Коржикова-Влах Е.Г.  
**ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ПОЛИПЕПТИДНЫХ НАНОФОРМ ПОЛИМИКСИНА Е**
- 4-Р-21** Соломаха О.А., Степанова М.А., Гофман И.В., Добродумов А.В., Коржикова-Влах Е.Г.  
**ОКИСЛЕННЫЙ ГРАФЕН С КОВАЛЕНТНО КОНЬЮГИРОВАННОЙ ПОЛИ(ГЛУТАМИНОВОЙ КИСЛОТОЙ) В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ БИОДЕГРАДИРУЕМЫХ ПОЛИМЕРОВ**
- 4-Р-22** Шипенок К.М., Мажикенова А.М., Шиповская А.Б.  
**СТАБИЛИЗАЦИЯ ДИСПЕРСИИ НАНОЧАСТИЦ АСПАРАГИНАТА ХИТОЗАНА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПРЕДШЕСТВЕННИКАМИ**
- 4-Р-23** Яковлев В.В., Еремин А.В., Саликова Е.П., Сивцов Е.В.  
**КОНТРОЛИРУЕМАЯ РАДИКАЛЬНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ СИСТЕМ ВИНИЛПИРРОЛИДОН-ВИНИЛСУКЦИНИМID ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ БИОМАРКЕРОВ**

**4-Р-24** Янг Г.Ф., Пошина Д.Н., Скорик Ю.А.  
ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЕ БИОМИМЕТИЧЕСКИХ СКАФФОЛДОВ НА ОСНОВЕ  
ФОТОСШИВАЕМОГО ДЕКСТРАНА

## **Секция 5. Теория, компьютерное моделирование и машинное обучение**

- 5-Р-01** Громова Н.Р., Комолкин А.В., Маркелов Д.А.  
ДИФФУЗИОННЫЕ СВОЙСТВА РАМАМ ДЕНДРИМЕРОВ В РАСТВОРЕ  
МЕТАНОЛА
- 5-Р-02** Дмитрович А.Д., Буглаков А.И.  
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛИНОВИДНЫХ МЕЗОГЕНОВ  
ВДОЛЬ ПОЛИМЕРНОЙ ЦЕПИ НА САМООРГАНИЗАЦИЮ  
СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПЛЕКСОВ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ
- 5-Р-03** Полоцкий А.А., Иванова А.С.  
О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ  
ТОЧКИ АДСОРБИОННОГО ПЕРЕХОДА СТАТИСТИЧЕСКИХ СОПОЛИМЕРОВ
- 5-Р-04** Литвин К.А., Курбатов А.О., Балабаев Н.К., Мерзлякова Т.Ю., Крамаренко Е.Ю.  
ВЛИЯНИЕ ДОЛИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОКСИЛЬНЫХ ГРУПП В  
КОНЦЕВЫХ СЕГМЕНТАХ КАРБОСИЛАНОВЫХ ДЕНДРИМЕРОВ НА ИХ  
КОНФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ В ВОДЕ, ТОЛУОЛЕ И НА МЕЖФАЗНЫХ  
ГРАНИЦАХ ВОДА-ТОЛУОЛ И ВОДА-ВАКУУМ
- 5-Р-05** Лебедева И.О., Жулина Е.Б., Борисов О.В.  
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОЛИМОРФИЗМА СУПЕРСТРУКТУР В  
РАСТВОРАХ МОЛЕКУЛЯРНО-ЩЕТОЧНЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ
- 5-Р-06** Лукиев И.В., Скворцов А.М., Клужин Л.И., Борисов О.В., Михайлов И.В.  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛОСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ АСИММЕТРИЧНЫХ ЩЁТОК
- 5-Р-07** Наджарьян Т.А., Крамаренко Е.Ю.  
МЕЗОСКОПИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ МАГНИТОАКТИВНЫХ  
ЭЛАСТОМЕРОВ ПУТЬМ ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОБЪЁМА КОМПОЗИТА
- 5-Р-08** Фатихова А.В., Буглаков А.И.  
СТРУКТУРНЫЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ДНК-КИСИНГ-ЛУПОВ

# ЗАОЧНЫЕ ДОКЛАДЫ

## Секция 1. Синтез и модификация полимеров

- 1-С-01** Бондарев В.П., Арнгольд В.А., Селина В.А., Костылева Е.И., Новиков А.Н.  
ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ПОЛИОРГАНОСИЛОКСАНОВ
- 1-С-02** Глазырина М.И., Маляр Ю.Н.  
СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СУЛЬФАТИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ХИТОЗАНА
- 1-С-03** Исмайлов Д.А., Мариничев М.А., Томс Р.В., Гервальд А.Ю.  
СИНТЕЗ И СВОЙСТВА СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛОНИТРИЛА И ФУРФУРИЛАКРИЛАТА
- 1-С-04** Киселева Н.С., Пискарёв Н.А., Клепиков С.Н., Юррова И.В.  
АПРОБАЦИЯ НЕКОТОРЫХ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ИХ СМЕСЕЙ В КАЧЕСТВЕ ПРАЙМЕРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ШТЫРЕВЫХ И СТЕРЖНЕВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ
- 1-С-05** Ласкова Е.А., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф.  
ОСОБЕННОСТИ ДЕСТРУКЦИИ ПОЛИМЕРОВ ЛИНЕЙНОЙ СТРУКТУРЫ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДАМИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ С ОБРАТИМОЙ ДЕЗАКТИВАЦИЕЙ И ПОСТПОЛИМЕРИЗАЦИОННОЙ МОДИФИКАЦИИ
- 1-С-06** Плещкевич Д.В., Осипчик В.С., Алексеев А.А., Коробко Е.А., Клепиков С.Н.  
МОДИФИКАЦИЯ СМЕСИ АБС-ПЛАСТИК + ПОЛИАМИД 6
- 1-С-07** Пономарева Д.А., Силантьева Е.В., Бражникова Д.С., Серхачева Н.С.,  
Лобанова Н.А., Прокопов Н.И.  
ГЕТЕРОФАЗНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ СТИРОЛА В ПРИСУТСТВИИ АМФИФИЛЬНОГО СОПОЛИМЕРА N,N-ДИМЕТИЛАМИНОЭТИЛМЕТАКРИЛАТА
- 1-С-08** Семина Е.А., Кушнир Е.Ю., Базарнова Н.Г., Лисих Д.В.  
КАРБОКСИМЕТИЛИРОВАННЫЕ ЛИГНИН-ПОЛИСАХАРИДНЫЕ КОМПОЗИТЫ ИЗ НЕПИЩЕВОЙ БИОМАССЫ ШИШЕК СОСНЫ СИБИРСКОЙ
- 1-С-09** Середа М.В., Маляр Ю.Н.  
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИКАТИОННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ КСИЛАНА
- 1-С-10** Фролов К.Д., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф.  
ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ПОСТПОЛИМЕРИЗАЦИОННОЙ МОДИФИКАЦИИ БРОМСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРОВ В ПРИСУТСТВИИ КИСЛОРОДА ВОЗДУХА
- 1-С-11** Шанвар С., Колякина Е.В., Перепелицина Е.О., Гришин Д.Ф.  
ОБРАТИМО-ДЕЗАКТИВИРУЕМАЯ РАДИКАЛЬНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ВЫСШИХ АЛКИЛМЕТАКРИЛАТОВ В СИНТЕЗЕ ЛИНЕЙНЫХ И РАЗВЕТВЛЕННЫХ ВЯЗКОСТНЫХ ПРИСАДОК К МАСЛАМ

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

- 2-С-01** Варгасова С.В., Терешко А.Е.  
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ,  
СФОРМИРОВАННЫХ ИЗ ДИСПЕРСИИ ПОЛИВИНИЛАЦЕТАТА
- 2-С-02** Галуза О.А., Коротков Н.А., Кабанов М.А., Киенская К.И., Николаев Ю.А.  
ВЛИЯНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГУМАТОВ НА  
ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ ИММОБИЛИЗОВАННЫХ МОЛОЧНОКИСЛЫХ  
БАКТЕРИЙ
- 2-С-03** Езубец А.П., Вонсович Н.В., Шаченкова Л.Н.  
СЛАБООСНОВНЫЙ ИОНИТ ТОКЕМ-320 КАК КОМПОНЕНТ ПИТАТЕЛЬНОГО  
СУБСТРАТА ДЛЯ РАСТЕНИЙ
- 2-С-04** Езубец А.П., Шаченкова Л.Н., Вонсович Н.В.  
ПРИМЕНЕНИЕ ИОНООБМЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ ВОЛОКНИСТОЙ СТРУКТУРЫ  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ПОЧВ
- 2-С-05** Киселева Н.С., Пискарёв Н.А., Плещкевич Д.В., Коробко Е.А., Алексеев А.А.,  
Осипчик В.С.  
МОДИФИКАЦИЯ СТЕКЛОНАПЛНЕННОГО ПОЛИАМИДА 6,  
ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ПРОИЗВОДСТВЕ ШТЫРЕВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ  
ИЗОЛЯТОРОВ
- 2-С-06** Маркова А.И., Савенко А.О., Хижняк С.Д., Пахомов П.М.  
СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ МОРФОЛОГИИ ПОЛИМЕРНЫХ  
ЛАТЕКСОВ И ПЕН
- 2-С-07** Сулдина Ж.И., Русинова Е.В.  
РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ МЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ

## **Секция 3. Полимерные композиционные материалы**

- 3-С-01** Сивак Т.П., Кадыкова Ю.А., Калганова С.Г., Сивак А.С., Горбачева Е.Ю.  
ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ОТВЕРДИТЕЛЕЙ НА КИНЕТИКУ ОТВЕРЖДЕНИЯ  
ЭПОКСИДНОГО ОЛИГОМЕРА
- 3-С-02** Сривастава А.А., Демидов М.П., Костылева Е.И., Новиков А.Н., Ивлев А.Е.  
ГИДРОФОБИЗИРУЮЩИЕ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИЕ СОСТАВЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

## **Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения**

- 4-С-01** Абдурахимов Т.Д., Галимуллин Р.Р., Мингалеева Г.Р., Мингалеев В.З.  
СВОЙСТВА ХИТОЗАНОВЫХ ГИДРОГЕЛИЙ С 5-НОРБОРНЕНОВЫМ  
КРОСС-ЛИНКЕРОМ
- 4-С-02** Ерохина Ю.С., Алиев Г.Ш., Томс Р.В., Гервальд А.Ю.  
СИНТЕЗ ЛАКТИДА ИЗ ОЛИГОМЕРОВ МОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ,  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ КИСЛОТАМИ
- 4-С-03** Ершов Н.А., Хижняк С.Д., Пахомов П.М.  
ПРОЦЕССЫ САМОСБОРКИ, ГЕЛЕ- И ПЛЕНКООБРАЗОВАНИЯ В ЦИСТЕИН-  
СЕРЕБРЯНОМ РАСТВОРЕ ПРИ ДОБАВЛЕНИИ КАРРАГИНАНА

- 4-С-04** Мулюкова С.М., Сагитова А.Ф., Мингалеева Г.Р., Мингалеев В.З.  
ПОЛУЧЕНИЕ СЕТЧАТОГО ПОЛИМЕРА ИЗ АКРИЛАТА НАТРИЯ И НОВОГО КРОСС-ЛИНКЕРА 10-УНДЕЦЕНИЛ-10-УНДЕЦЕНОАТА
- 4-С-05** Пушенко Т.С., Небесная Д.В., Нормов А.М., Карпов Н.В., Жаворонок Е.С.  
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭМБОЛИЗАЦИИ НА МИКРОФЛЮИДНОЙ УСТАНОВКЕ
- 4-С-06** Ракшина А.Д., Пошина Д.Н., Скорик Ю.А.  
АМФИФИЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ХИТОЗАНА ДЛЯ ДОСТАВКИ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ
- 4-С-07** Семке Е.Н., Середа М.В., Маляр Ю.Н.  
ПОЛУЧЕНИЕ СУЛЬФАТИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ГАЛАКТОГЛЮКОМАННАНА С ИЗУЧЕНИЕМ ИХ АНТИКОАГУЛЯНТНОЙ АКТИВНОСТИ
- 4-С-08** Цатуриян Э.Б., Проскурина В.Е.  
ФЛОКУЛЯЦИЯ СУСПЕНЗИИ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ МАГНИТНЫМИ НАНОКОМПОЗИТАМИ
- 4-С-09** Яковлева О.И., Костандян Е.С., Будушина Е.М., Давыдов Р.Э., Дятлов В.А.  
ПОЛИМЕРЫ ДЛЯ ВНУТРИКЛЕТОЧНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ НА ОСНОВЕ ХОНДРОИТИН СУЛЬФАТА

## **Секция 5. Теория, компьютерное моделирование и машинное обучение**

- 5-С-01** Иванова А.С., Погоцкий А.А.  
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ АДСОРБЦИИ РЕГУЛЯРНОГО МУЛЬТИБЛОК-СОПОЛИМЕРА НА ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ
- 5-С-02** Мельникова С.Д., Ларин С.В.  
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК С МАЛОЙ ТОЛЩИНОЙ СЛОЕВ: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
- 5-С-03** Попова Т.О., Лактионов М.Ю., Жулина Е.Б., Борисов О.В.  
ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНАЯ ЩЕТКА В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОРЕ: МОДЕЛЬ САМОСОГЛАСОВАННОГО ПОЛЯ В ПРИБЛИЖЕНИИ ПУАССОНА-БОЛЬЦМАНА
- 5-С-04** Попова Т.О., Лактионов М.Ю., Жулина Е.Б., Борисов О.В.  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛИАМФОЛИТНЫХ НАНОКОЛЛОИДОВ С рН-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМИ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫМИ ЩЕТКАМИ: ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРИБЛИЖЕНИИ САМОСОГЛАСОВАННОГО ПОЛЯ

## **ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ**

**СОПРЯЖЕННЫЕ ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫЕ ОЛИГОМЕРЫ И  
ПОЛИМЕРЫ ДЛЯ ОПОЭЛЕКТРОНИКИ И БИОМЕДИЦИНЫ**

Лупоносов Ю.Н.

*ФГБУН Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова*

*Российской академии наук, г. Москва, Россия*

*luponosov@ispmt.ru*

Среди различных классов органических сопряженных соединений особый интерес представляют соединения донорно-акцепторного (Д-А) типа, т.к. их свойства могут быть тонко настроены в широком диапазоне для конкретного типа применения как в органической, так и гибридной электронике. В докладе будет представлен молекулярный дизайн, синтез и комплексное исследование свойств новых серий Д-А олигомеров и полимеров разнообразного строения. Будут представлены результаты исследования комплекса их свойств и успехи применения в таких областях как органические солнечные батареи [1,2], фотодетекторы [3], фото- и электролюминесцентные устройства [4], дырочно-транспортные слои в перовскитных солнечных батареях [5,6] и биоэлектроники [7]. Поскольку такие соединения обладают настраиваемой и, как правило, довольно узкой оптической щелью это позволяет получать соединения с поглощением и излучением света в красном и ближнем инфракрасном спектральных диапазонах, т.е. биологически полупрозрачных спектральных диапазонах. В докладе будет много внимания уделено представлению экспериментальных результатов в направлении разработки Д-А соединений для фототерапии онкологических заболеваний.

**Список литературы:**

- [1] W. Wei, S. Ponomarenko, Yu. Luponosov, J. Min et. al. *J. Mater. Chem. A*, **10**, 18753 (2022)
- [2] E. D. Papkovskaya, D. O. Balakirev, J. Min, Yu. N. Luponosov, *Materials Today Energy*, **43**, 101591 (2024).
- [3] Yu. N. Luponosov, A. N. Solodukhin et. al. *Materials Today Energy*, **22**, 100863 (2021).
- [4] D. O. Balakirev, Yu. N. Luponosov et. al., *Dyes and Pigments*, **208**, 110777 (2023).
- [5] I. V. Dyadishchev, Yu. N. Luponosov et. al., *Dyes and Pigments*, **24**, 112003 (2024)
- [6] T. S. Le, I.A. Chuyko, Yu. N. Luponosov, D. S. Saranin et. al, *Solar RRL*, **8**, 2400437 (2024).
- [7] P.K. Sukhorukova, E.A. Illicheva, Yu.N. Luponosov, D.S. Saranin et. al., *Journal of Power Sources*, **604**, 234436 (2024).
- [8] E.A. Illicheva, P. K. Sukhorukova, Yu. N. Luponosov, D. S. Saranin et. al., *Materials Today Energy*, **47**, 101741 (2025).
- [9] I. A. Chuyko, P. A. Troshin, S. A. Ponomarenko, Yu. N. Luponosov, *Russian Chemical Reviews*, **94**, RCR5152 (2025)
- [10] Yu. N. Luponosov, A. N. Solodukhin, et. al., *ACS Biomater. Sci. Eng.* **10**, 2, 1139 (2024)

**Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 25-13-00422).*

## ЗАМЕЩЕННЫЕ ЦИКЛООЛЕФИНЫ НОРБОРНЕНОВОГО РЯДА – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ БЛОКИ НОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Алентьев Д.А.<sup>1</sup>, Бермешева Е.В.<sup>1</sup>, Борисов И.Л.<sup>1</sup>, Возняк А.И.<sup>1</sup>, Карпов Г.О.<sup>1</sup>,  
Бермешев М.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчева РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
г. Москва, Россия

*bmv@ips.ac.ru*

Полимеры с жёсткими и насыщенными углеводородными основными цепями, содержащие функциональные группы требуемой природы в боковых заместителях, представляют собой перспективные материалы для ряда современных высокотехнологичных отраслей. Эти полимеры, как правило, сочетают уникальный комплекс эксплуатационных характеристик: высокую термическую и химическую стойкость, низкое влагопоглощение, а также возможность целенаправленной модификации свойств за счёт варьирования структуры боковых групп.

Одним из наиболее привлекательных классов мономеров для синтеза подобных полимеров являются производные норборнена. Интерес к ним обусловлен несколькими факторами. Во-первых, использование реакций [4π+2π]- и [2σ+2σ+2π]-цикlopрисоединения позволяет синтезировать широкий спектр соединений с систематически изменяемой структурой. Во-вторых, напряжённая структура норборненового фрагмента обеспечивает высокую реакционную способность эндоциклической двойной связи, что делает его особенно пригодным для реакций полимеризации и функционализации. Эти особенности открывают широкие возможности для направленного дизайна полимеров с предопределёнными свойствами (рис. 1).

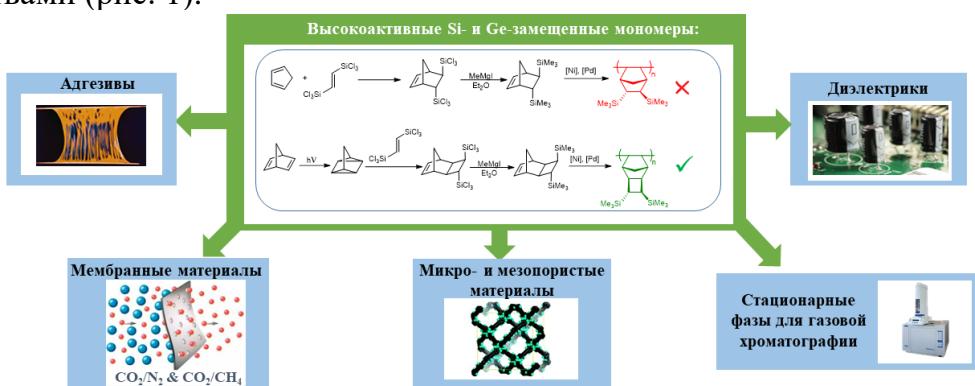


Рис. 1 - Некоторые направления дизайна полимерных материалов на основе производных норборнена.

В докладе будет представлено одно из направлений в дизайне полимерных материалов на основе производных норборнена, а именно направленный синтез мембранных материалов для различных задач газоразделения.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 25-13-00478).

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ АДСОРБЦИИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ  
ДЕСОРБЦИИ МУЛЬТИБЛОК-СОПОЛИМЕРОВ**

Полоцкий А.А., Иванова А.С.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» —  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
alexey.polotsky@gmail.com*

Адсорбция полимерных цепей на поверхностях и границах раздела фаз играет важную роль в науке о полимерах и в прикладных областях как, например, хроматография, модификация поверхностей, биотехнология, создание полимерных нанокомпозитов. Использование мультиблок-сополимеров в подобных приложениях представляется особенно перспективным: в самом деле, сочетание чередующихся блоков различной химической природы может быть весьма полезным для улучшения совместимости наполнителя с полимерной матрицей в нанокомпозите или более эффективной стабилизации коллоидных суспензий за счёт окружения частицы набухшей короной, образованной петлями не адсорбирующегося на поверхности частицы блока.

Рассмотрены три задачи, связанные с адсорбцией сополимеров: (1) адсорбция одиночной цепи регулярного мультиблок-сополимера на непроницаемой твердой поверхности, (2) адсорбция мультиблок-сополимера на плоскую твердую поверхность из раствора и (3) задача о механической десорбции при отрывании одиночной макромолекулы мультиблок-сополимера, адсорбированной на плоской поверхности. Для их решения использовались метод матриц перехода и метод производящих функций для одиночных макромолекул и метод самосогласованного поля Схойтенса-Флира для полимерных растворов.

Показано, что увеличение длины блоков способствует адсорбции, сдвигая точку адсорбционного перехода в сторону более высоких температур, увеличивая число выгодных контактов с поверхностью и уменьшая число невыгодных. Установлена немонотонная зависимость количества адсорбированного из раствора мультиблок-сополимера от соотношения длин адсорбирующегося и неадсорбирующегося блоков — при заданной длине периода мультиблок-сополимера существует такое значение длины блока, при котором количество адсорбирующегося полимера и толщина слоя адсорбированного полимера максимальны. Показано, что зависимость возвращающей силы от положения конца при механической десорбции мультиблок-сополимера, содержащего сильно адсорбирующиеся блоки, немонотонна и имеет «пилообразный» вид с затухающими осцилляциями.

**Благодарности**

*Работа выполнена в рамках государственного задания филиала НИЦ «Курчатовский институт» — ПИЯФ — ИВС по теме № 1023031700046-9-1.4.4 "Равновесные и динамические характеристики полимерных систем сложного состава и архитектуры: эксперимент, теория и компьютерное моделирование".*

## **ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИОННАЯ 3D- И 4D-ПЕЧАТЬ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**Бурдуковский В.Ф.<sup>1</sup>, Холхоев Б.Ч.<sup>1</sup>, Бардакова К.Н.<sup>2</sup>, Матвеев З.А.<sup>1</sup>,  
Коркунова О.С.<sup>1</sup>, Коллегова М.Р.<sup>1</sup>, Никишина А.Н.<sup>1</sup>, Тимашев П.С.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Байкальский институт природопользования Сибирского отделения  
Российской академии наук, г. Улан-Удэ*

*<sup>2</sup>Первый московский государственный медицинский университет  
им. И.М. Сеченова, г. Москва, Россия  
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 архитектоникой 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, что существенно ограничивает применение этих методов.

В докладе обобщены результаты работ по созданию ФПК, которые в процессе отверждения под действием УФ-излучения при 405 нм коммерческих 3D-принтеров (SLA, DLP, LCD) 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 тетратиолами, что позволило при использовании малых мощностей излучения быстро получать изделия с низкой степенью усадки.

Изделия, полученные на основе разработанных ФПК, обладают высоким комплексом эксплуатационных свойств. Так термостойкость полученных материалов достигает 450 °C. Прочность на разрыв – 92-164 МПа, удлинение при разрыве – 6.5-10.1 %. Методом DMA установлено, что температура стеклования составляет 148-180 °C. Некоторые материалы демонстрируют эффект памяти формы: коэффициент фиксации формы 98-99%, а коэффициент восстановления формы достигает 99.9 % при температуре 168-210 °C. Показано также, что некоторые из разработанных материалов способны сохранять высокие термические и физико-механические характеристики после γ-облучения дозой до 106 Гр.

### **Благодарности**

*Работа выполнена в рамках государственного задания БИП СО РАН  
(FWSU-2021-0007).*

## САМООРГАНИЗАЦИЯ В ПОЛИМЕРНЫХ АКТИВНЫХ СРЕДАХ

Буглаков А.И.<sup>1,2</sup>, Лелекова В.А.<sup>1,3</sup>, Рудяк В.Ю.<sup>1,3</sup>, Гаврилов А.А.<sup>1,3</sup>, Чертович А.В.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>*ФИЦ ХФ РАН*

<sup>2</sup>*ИНЭОС РАН*

<sup>3</sup>*МГУ им. М.В.Ломоносова*

*chertov@polly.phys.msu.ru*

Активная материя – это новая и быстро развивающаяся научная область, описывающая системы с активными агентами, способными преобразовывать энергию окружающей среды в свою собственную. В таких системах отсутствует классическое термодинамическое равновесие, и могут наблюдаться необычные эффекты самоупорядочения и сегрегации [1]. Такие системы можно найти на совершенно разных пространственных и временных масштабах, начиная от биомолекулярных моторов и бактерий, и заканчивая стаями птиц и косяками рыб. Но что произойдет, если активные вещества образуют полимерные цепи? Полимеры бедны энтропией и поэтому более склонны к самоупорядочиванию и структуризации, чем низкомолекулярные системы. На нескольких моделях полимеров с активными мономерными звеньями будут продемонстрированы их особенности и необычные свойства, в том числе способность к сонаправленному коллективному движению [2], коллапсу под действием активности [3] и даже микрофазному расслоению. В дополнение к возможным будущим технологическим применением, мы считаем, что этот тип самоорганизации может играть ключевую роль в структурировании ДНК в ядрах живых клеток, включая разделение на эу- и гетерохроматин.

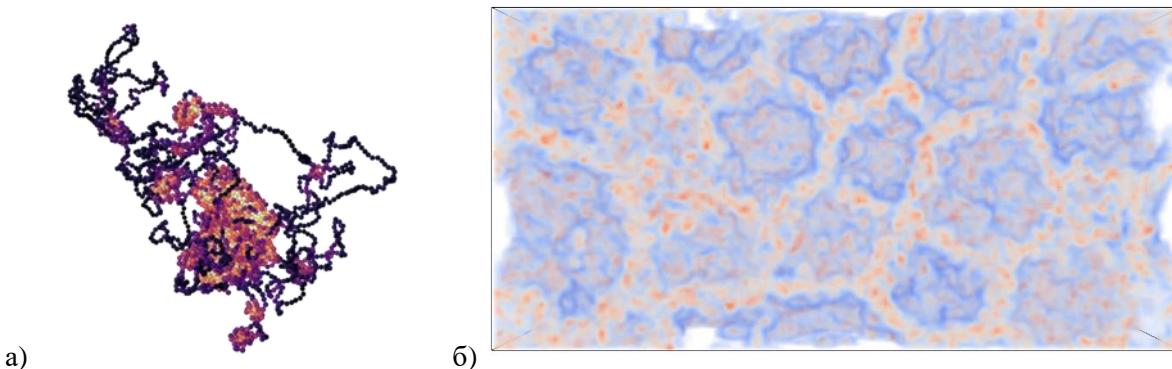


Рис. 1 - Примеры полимерных систем, демонстрирующих самоорганизацию только за счет активности мономерных звеньев: частичный коллапс одиночной цепи (а) и микрофазное расслоение концентрированного раствора диблок-сополимера с активным блоком (б).

### Список литературы:

- [1] Popkin, G. Nature **529**, 16–18 (2016). [2]. Rudyak V., Lopushenko A., Palyulin V., Chertovich A. J. Chem. Phys. **160**, 044905 (2024). [3] Buglakov A., Lelecova V., Chertovich A., Phys. Chem. Chem. Phys. **27**, 1691 (2025).

### Благодарности

Работа выполняется при финансовой поддержке гранта РНФ 23-73-0008.

**ПРОТИВОИОННАЯ АССОЦИАЦИЯ КАК СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ  
ХИРАЛЬНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ НАНОЧАСТИЦ  
АСПАРАГИНАТА ХИТОЗАНА**

Шиповская А.Б.<sup>1</sup>, Луговицкая Т.Н.<sup>2</sup>, Шипенок К.М.<sup>1</sup>, Ушакова О.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов*

<sup>2</sup>*Уральский федеральный университет имени Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург  
shipovskayaab@yandex.ru*

Наноструктурированные полимерные матрицы с хиральной структурой и регулируемыми сайтами комплементарно-специфических взаимодействий открывают новые возможности для создания высокоселективных лекарственных средств и высокоэффективных агронанобиохимикатов.

В докладе будут представлены результаты исследования хиральных наночастиц гетеро- и гомохиральных солевых комплексов хитозана (CS) с L- и D-аспаргиновой кислотой (AspA). В основе их формирования лежит процесс противоионной ассоциации (самоорганизации) поликатиона с контрионами кислотного остатка с переходом макромолекул в иономерное состояние и фазовой сегрегацией полимерного вещества на уровне наночастиц (способ «снизу вверх») [1, 2]. Будут рассмотрены оптимальные условия стабилизации дисперсий аспаргината хитозана (CS·L-(D-)AspA) путем функционализации поверхности наночастиц полисилоксановым оболочечным покрытием. В качестве золь-гель прекурсора впервые использован фармакологически активный золь-гель предшественник – тетраглицеролат кремния. Представлен детальный анализ хиральных частиц CS·L-(D-)AspA методами динамического рассеяния света, ИК-, энергодисперсионной и поляризационной спектроскопии, рентгеновской дифрактометрии, малоуглового рассеяния рентгеновских лучей, сканирующей, просвечивающей и атомно-силовой микроскопии, ультрамикроскопии, вискозиметрии, сорбционно-солюбилизационных процессов [3, 4]. Отдельное внимание будет уделено влиянию изомерной формы L-(D-)AspA на физико-химические свойства и биологическую активность наночастиц. В заключении обсуждены перспективы использования наноструктурированного CS·L-(D-)AspA в медико-биологических приложениях и высокотехнологичном растениеводстве.

**Список литературы:**

- [1] Lugovitskaya T.N., Shipovskaya A.B., et al. Carbohydrate Polymers, **277**, 118773 (2022).
- [2] Shipenok X.M., Lugovitskaya T.N., et al. Russ. J. Phys. Chem., **98**, 15842024 (2024).
- [3] Shipovskaya A.B., Ushakova O.S., et al. Gels, **10**, 427 (2024).
- [4] Shipenok X.M., Makhnenko A.M., et al. Journal of Biomedical Photonics & Engineering. **10(4)**, 040316 (2024).

**Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект №24-16-00172, <https://rscf.ru/project/24-16-00172/>.*

## **ПРИГЛАШЁННЫЕ ДОКЛАДЫ**

## I-01

# ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ АГРЕССИВНЫХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Подзорова М.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, г. Москва*

<sup>2</sup>*Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля Российской академии наук,  
г. Москва  
mariapdz@mail.ru*

За последнее столетие полимеры произвели настоящую революцию в промышленности благодаря простоте обработки и соотношению прочности и веса по сравнению с металлами или стеклом. В настоящее время они используются во всех областях применения – от высокопроизводительных конструкций до простой упаковки. Однако массовое производство одноразового пластика в настоящее время является проблемой образования полимерных отходов [1, 2]. Смешивание биоразлагаемых полимеров является одним из способов получения новых композиционных материалов. Изучение материалов при воздействии агрессивных факторов может дать представление о свойствах и дальнейшем применении [3].

Широко изученными полиэфирами являются полилактид (ПЛА), полибутиленадипаттерефталат (ПБАТ), поликапролактон (ПКЛ) и другие. В данной работе испытания проводились на пленочных образцах на основе полибутиленадипаттерефталата (ПБАТ) марки TH801T (Shanghai Hengsi New Material Science, Китай) и полилактида (ПЛА) (4043D, Nature works, США) с добавлением поликапролактона (ПКЛ) (Полиморфус (ESUN 600C), Китай). Содержание ПКЛ в матрице ПБАТ и ПЛА составляло 0, 10 и 20 мас. %. В процессе изучения композиций использовались такие методы исследования, как дифференциальная сканирующая калориметрия, ИК-спектроскопия, оптическая микроскопия. Рассматривая влияние различных факторов, можно отметить, что УФ-излучение, почвенная и водная среды являются крайне агрессивными для полимерных материалов.

После инкубации образцов в почве в течение 56 суток отмечается изменение теплофизических характеристик компонентов смеси, что свидетельствует о деструкции материала. Отмечается, что смеси ПЛА/ПКЛ подвергается в начале ферментативному гидролизу, а затем начинается процесс биодеструкции, но для таких смесей важна температура. При этом смеси ПБАТ/ПКЛ показали эффективную биодеструкцию, практически полностью разрушившись.

Влияние фотодеструкции на смеси подтверждается методами ДСК и ИК-спектроскопии. Результаты показывают, что происходит значительное изменение температуры плавления и степени кристалличности компонентов, а также выявлено изменения в областях  $3300\text{ см}^{-1}$  и  $1700\text{-}1500\text{ см}^{-1}$ .

## Список литературы:

- [1] Tertyshnaya Y., Podzorova M., Moskovskiy M. Polymers. **13** (3), 461 (2021).
- [2] Lv Sh., Zhang Y., Tan H. Waste Management **87**, 335–344. (2019).
- [3] Podzorova M.V., Tertyshnaya Yu.V. Polymer Science, Series D. **17** (3), 754 (2024).

## БАЙЕСОВСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛИМЕРОВ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Федурова Ю.В.<sup>1</sup>, Глаголев М.К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*МГУ им. М. В. Ломоносова, факультет фундаментальной физико-химической инженерии, г. Москва*

<sup>2</sup>*Институт элементоорганических соединений им. Несмейнова РАН, г. Москва  
mikhail.glagolev@gmail.com*

Моделирование методом молекулярной динамики является одним из важных источников информации о структуре и поведении полимерных систем. Такие расчеты являются крайне ресурсоемкими, так как стабильность разностных схем численного решения уравнений движения частиц обеспечивается за счет малого шага интегрирования, а количество вычислений на каждом шаге в общем случае квадратично зависит от количества моделируемых частиц.

В современных пакетах для компьютерного моделирования скорость расчетов повышается за счет распараллеливания вычислений, использования графических процессоров, применения специальных оптимизаций, таких как списки соседей, учет 3-го закона Ньютона и т. д. Это приводит к появлению параметров, не относящихся к модели, но влияющих на производительность расчетов. Хотя в некоторых пакетах такие “гиперпараметры” расчета выбираются автоматически, во многих случаях их выбор возложен на пользователя. Количество этих параметров и сложные взаимосвязи между ними крайне затрудняют их подбор для пользователя, не являющегося экспертом.

В докладе описывается подход к автоматизированному подбору параметров, влияющих на производительность моделирования, методом стохастической оптимизации с использованием древовидной оценки Парзена. Используя короткие тестовые запуски, это позволяет подобрать оптимальное сочетание параметров расчета для рассматриваемой системы на имеющемся вычислительном оборудовании. Метод реализован для пакета LAMMPS, с использованием свободно распространяемой библиотеки Optuna. Несмотря на то, что в случае изменения состояния (например, плотности) моделируемой системы оптимальные значения могут измениться, в большинстве случаев предлагаемая стохастическая оптимизация позволяет существенно повысить производительность расчетов.

Расчеты проводились с использованием оборудования центра коллективного пользования высокопроизводительных вычислительных ресурсов Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова [1].

### Список литературы:

[1] Vl. Voevodin, A. Antonov, D. Nikitenko, P. Shvets, S. Sobolev, I. Sidorov, K. Stefanov, Vad. Voevodin, S. Zhumatiy. Supercomputing Frontiers and Innovations, **6**, 4-11 (2019).

### Благодарности

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 075-00276-25-00 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

## **СЕКЦИЯ 1**

### ***СИНТЕЗ И МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ***

### **УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ**

## 1-О-01

# ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИДИМИЛСИЛОКСАНОВ С КОНЦЕВЫМИ АЛКОКСИЛЬНЫМИ ГРУППАМИ

Безлекина К.А.<sup>1,2</sup>, Беликова И.И.<sup>1,3</sup>, Аристова В.А.<sup>1,3</sup>, Ульянкин Р.В.<sup>1,3</sup>,  
Ардабьевская С.Н.<sup>1,2</sup>, Крылов Ф.Д.<sup>1</sup>, Франк И.В.<sup>3,4</sup>, Миняйло Е.О.<sup>4</sup>,  
Анисимов А.А.<sup>4</sup>, Зубова В.Ю.<sup>3,4</sup>, Миленин С.А.<sup>1,2</sup>, Музрафов А.М.<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
г. Москва

<sup>2</sup>Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого,  
г. Тула

<sup>3</sup>Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный

<sup>4</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,  
г. Москва

*Bezlepkinska@ispmt.ru*

Полидиметилсилоксаны (ПДМС) с концевыми алcoxисилильными группами имеют важное промышленное значение, учитывая их высокую реакционную способность в реакциях гидролиза, гетерофункциональной конденсации. Однако, методы их получения как правило требуют использования дорогих катализаторов или жестких условий.

В нашей работе показано, что ПДМС с концевыми метоксильными группами образуются по реакции раскрытия силоксанового цикла октаметилциклотетрасилоксана (D4) в растворе метанола в присутствии метилата натрия при комнатной температуре [1]. Рассмотрены различные условия проведения процесса, возможность повторного использования реакционной системы и масштабирование, а также полимеризация в присутствии других спиртов. Строение полученных полисилоксанов установлено и доказано с использованием <sup>1</sup>H, <sup>29</sup>Si, NMR спектроскопии, GPC анализа, MALDI-TOF. Предполагается, что полученные результаты повлияют на развитие области получения функциональных полисилоксанов.

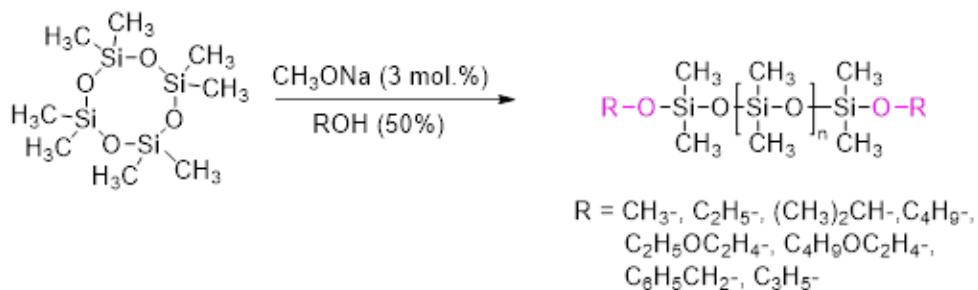


Рис. 1 – Схема получения ПДМС с концевыми алcoxисильными группами.

## Список литературы:

- [1] K. Bezlepkinska, S. Milenin, N. Vasilenko, A. Muzafarov, A. M. Polymers **14**, 2408 (2022).

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке Правительства Тульской области (Постановление от 30 декабря 2021 г. № 899) в рамках Соглашения от 7 сентября 2022 г. № 11.

## 1-О-02

# МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ ПОЛИФТОРИРОВАННЫМИ АМИНАМИ

Полицимако И.А., Кудашев С.В., Желтобрюхов В.Ф.

*ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»*  
*igorpolitsimako@mail.ru*

Полиуретановые эластомеры широко применяются для получения покрытий, эксплуатируемых в условиях механических, климатических и химических нагрузок. Для стабилизации их свойств перспективной является модификация полимерной матрицы поли- и перфторированными соединениями, к числу которых относятся полифторированные амины. В настоящей работе исследовано влияние полифторированных производных трис-(2-аминоэтиламина), полученных методом N-полифторалкилирования, на структуру и свойства полиуретановых эластомеров. Модификаторы вводились на стадии синтеза полимера, что позволяло включать их в пространственную сетку за счёт взаимодействия с изоцианатами. Комплексная оценка структуры, морфологии и свойств полученных материалов проводилась с применением ряда современных физико-химических методов. Пространственная организация изучалась методами рентгеновской дифракции и малоуглового рентгеновского рассеяния. Морфология поверхности и её химический состав анализировались с помощью сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионного анализа, а элементный состав поверхностных слоёв — методом рентгенофотоэлектронной спектроскопии. Структурные фрагменты и межмолекулярные взаимодействия определялись по спектрам ЯМР ( $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F}$ ) и ИК-спектроскопии. Тепловые характеристики исследовались дифференциальной сканирующей калориметрией, а физико-механические свойства определялись согласно действующим стандартам. Установлено, что введение полифторированных аминов способствует формированию более плотной и устойчивой пространственной сетки, увеличивает долю химических сшивок и снижает подвижность макромолекулярных сегментов, что проявляется в повышении температуры стеклования и механической прочности. Поверхность модифицированных образцов обогащается фторированными группами  $-\text{CF}_2-\text{CF}_2-$ , способствуя формированию устойчивого гидрофобного слоя. Это приводит к снижению износа, уменьшению трибоокислительных процессов и повышенной стойкости при фотоокислительном и озонном старении. Спектроскопические данные подтвердили участие аминогрупп модификатора в химических реакциях с изоцианатами, а также их роль в формировании межмолекулярных нековалентных взаимодействий, стабилизирующих структуру. Методы рассеяния продемонстрировали устойчивость аморфной структуры фторполимеров к термическим воздействиям и выявили перераспределение плотных участков в структуре эластомера. Полученные данные показывают, что полифторированные амины оказывают многофакторное воздействие на свойства полиуретанов: от каталитического участия в синтезе до формирования поверхностной морфологии. Комплекс этих эффектов приводит к существенному улучшению эксплуатационных характеристик, расширяя области применения модифицированных полиуретанов в условиях интенсивных внешних нагрузок.

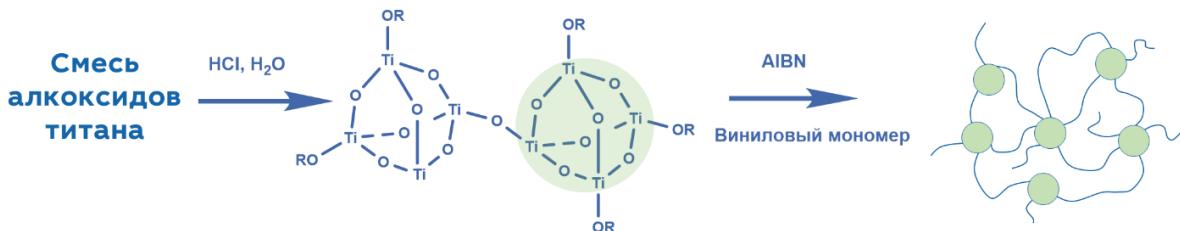
## 1-О-03

# РЕТ-RAFT ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА В ПРИСУТСТВИИ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЕЙ ДИОКСИДА ТИТАНА

Чичаров А.А., Краснова В.В., Власова А.О., Зайцев С.Д.

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

Одним из развивающихся направлений контролируемого синтеза макромолекул является PET-RAFT полимеризация. Для её проведения используются органические фотокатализаторы – они дорогостоящие, интенсивно подвергаются фотолизу в ходе проведения процесса, а очистка полимерного продукта от их производных трудоемка. Диоксид титана лишен этих недостатков, однако он проявляет фотокаталитическую активность только в УФ-диапазоне. Снизить необходимую энергию электронного перехода позволяет модификация по следующей схеме:



Полученные фотокатализатор был использован для проведения PET-RAFT полимеризации в массе при облучении УФ-излучением и излучением видимого спектра. Полученные полимеры характеризовались узким молекулярно-массовым распределением, а процесс полимеризации был проведен в контролируемом режиме. Природа фотокатализатора позволила отделить его от продукта центрифугированием – при последующих использованиях его фотокаталитическая активность не снизилась. Способ синтеза фотокатализатора позволил изготовить из него фоточувствительные элементы проточного фотопрессора – полученные в нем образцы ПММА характеризовались узким молекулярно-массовым распределением.

### Список литературы:

- [1] Quinn J., Barner L., Barner-Kowollik C., Rizzardo E., Davis T. Macromolecules – 35 (20), 7620 (2002).
- [2] Ryabkova O., Salomatina E., Knyazev A., Smirnova L. Inorg. Mat.: App. Research – 10, 431 (2019).

### Благодарности

При поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

## 1-О-04

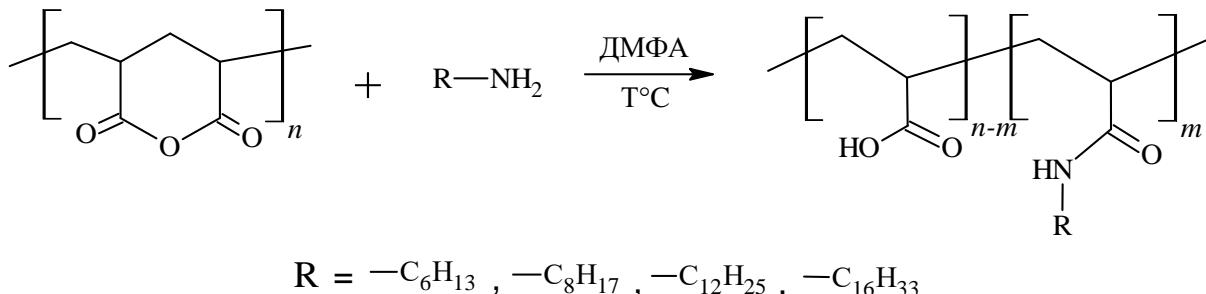
# СОПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОВОГО АНГИДРИДА И АЛИФАТИЧЕСКИХ АМИНОВ

Ситко А.В., Журавская О.Н., Власова Е.Н., Панарин Е.Ф.

Филиал НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИВС, г. Санкт-Петербург  
aleksandr.sitko113@yandex.ru

Вирусные инфекции являются актуальной проблемой здравоохранения. Перспективным направлением поиска новых эффективных противовирусных средств являются различные по структуре полиамионы: сульфатированные полисахариды, полистиролсульфонаты, нуклеиновые кислоты, которые способны эффективно ингибировать адгезию вирусных частиц к клеткам хозяина. Среди преимуществ противовирусных полимеров перед другими классами веществ стоит отметить их низкую цитотоксичность, широкий спектр противовирусной активности (ВИЧ, герпесвирусы, вирусы гриппа, респираторно-синцитиальный вирус), низкой степенью формирования резистентных к этим соединениям штаммов вирусов [1]. Известно, что полиакриловая кислота (ПАК) и её сополимеры проявляют противовирусную активность и используются в качестве полимеров-носителей, являются основой некоторых лекарственных средств пролонгированного действия [2]. Модификация ПАК с введением в её структуру ароматических фрагментов приводит к резкому повышению противовирусной активности, указывая на существенную роль гидрофобных факторов при взаимодействии сополимеров с клетками и вирусными частицами [3].

С целью изучения влияния степени гидрофобности алифатического радикала на противовирусную активность, конформационные и молекулярные характеристики проведена модификация ПАК алифатическими аминами путём взаимодействия полиакрилового ангидрида с гексиламином, октиламином, додециламином и цетиламином. Установлена их структура ИК- и  $^1\text{H}$  ЯМР спектрами, определён состав.



### Список литературы:

- [1] Lusher-Mattli M Antivir. Chem. Chemother **11(4)**, 249-259 (2000).
- [2] Шальнова Л.И., Лавров Н.А. и др. Известия СПбГТИ (ТУ) **19(45)**, 55-60 (2013).
- [3] Панарин Е.Ф., Журавская О.Н., Ситко А.В., Власова Е.Н., Штрод А.А. Высокомол. соед. Сер. Б **66**, №4, 218-222 (2024).

## 1-О-05

# ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МИКРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА И ГИДРОФИЛЬНЫХ МЕТОКСИ(ОЛИГОЭТИЛЕНОКСИД)(МЕТ)АКРИЛАТОВ

Журавлева А.А.<sup>1</sup>, Василенко И.В.<sup>1</sup>, Костюк С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета, г. Минск*

<sup>2</sup>*Sorbonne Universite, CNRS, Institut Parisien de Chimie Moleculaire, Equipe Chimie des Polymeres, Paris  
hanna.zhuravleva2000@gmail.com*

Среди множества полимерных материалов особый интерес представляют микрогели, благодаря их способности сочетать в себе свойства макромолекул, коллоидов и поверхностно-активных веществ [1]. Способность микрогелей изменять размер и форму под действием внешних стимулов определяется химическим составом исходных сомономеров и архитектурой образующихся микросфер. Поли-N-изопропилакриламид (ПНИПАМ) является термочувствительным полимером, чьи физические и химические свойства могут быть модифицированы посредством сополимеризации с различными гидрофобными и гидрофильными сомономерами. Такие материалы находят широкое применение в различных областях биомедицины, включая тканевую инженерию, доставку лекарств и создание биосенсоров [2].

В данной работе были синтезированы микрогели на основе ПНИПАМ, содержащие гидрофильные олигоэтиленоксидные фрагменты и метакриловую кислоту. Синтез осуществлялся методом радикальной сополимеризации НИПАМ, метокси(олигоэтиленоксид)(мет)акрилатов ( $M_n=400$ ), метакриловой кислоты и N,N-метиленбисакриламида с использованием миниэмulsionной полимеризации.

В результате был получен ряд микрогелей с различным содержанием метоксиолигоэтиленоксида (0; 10 w.%) и метакриловой кислоты (0; 3; 7 mol.%). Размер частиц, степень полидисперсности и влияние состава микрогеля на температуру объемно-фазового перехода были изучены методом динамического светорассеяния. Установлено, что гидродинамический диаметр микрогелей варьируется от 300 до 1000 нм в зависимости от состава сополимеров: с увеличением доли метоксиолигоэтиленоксида и метакриловой кислоты размер частиц увеличивается. Для всех синтезированных микрогелей характерно узкое унимодальное распределение по размеру. Введение гидрофильных сомономеров в состав полимера на основе ПНИПАМ приводит к сдвигу объемно-фазового перехода в область более высоких температур.

### **Список литературы:**

[1] Karg, M., Pich, A., Hellweg, T., Hoare, T., Lyon, L. A., Crassous, J. J., Suzuki, D., Gumerov, R. A., Schneider, S., Potemkin, Igor. I., Richtering, W. Langmuir **35**, 6231-6255 (2019).

[2] Town, A., Niezabitowska, E., Kavanagh, J., Barrow, M., Kearns, V. R., Garcia-Tunon, E., McDonald, T. O. J. Phys. Chem. **123**, 6303-6313 (2019)

### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке гранта БРФФИ (Х23РНФМ-031).*

## 1-О-06

# ФТАЛОНИТРИЛЬНЫЕ МАТРИЦЫ ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННОЙ ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТЬЮ

Терехов В.Е., Морозов О.С., Кепман А.В.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва  
trkhvve@mail.ru*

Одна из актуальных тенденций развития авиакосмической промышленности направлена на замену металлических деталей полимерными композиционными материалами (ПКМ) с целью снижения массы конструкций и сохранения механических характеристик. При этом дальнейшее внедрение ПКМ ограничено температурами эксплуатации полимерных матриц. Среди термореактивных самыми термостойкими являются фталонитрильные (ФН) ( $T_{ct} > 400$  °C,  $T_{5\%} > 500$  °C), однако, в окислительных средах при  $T > 300$  °C они окисляются теряя свои прочностные характеристики. Возможное решение данной проблемы – химическая модификация структуры ФН-полимера [1].

Целью данной работы является введение фтора в структуру ФН-полимера за счет использования фторированных мономеров и инициаторов поликонденсации, а также изучение влияния химической модификации на термоокислительную стабильность ФН-реактопластов. В ходе работы синтезирован ряд фталонитрильных мономеров и олигомеров, с различной степенью замещения атомами фтора. Были проведены попытки вовлечения объектов исследования в процесс поликонденсации. Оказалось, что мономеры, содержащие фтор в фталонитрильных кольцах, малоактивны, как и олигомерные фталонитрилы. Поэтому было решено вводить фтор в структуру полимера за счет использования фторированных ароматических аминов – инициаторов поликонденсации, которые позволили получить бездефектные фталонитрильные реактопласти.

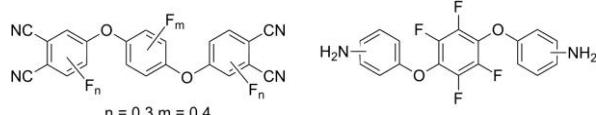


Рис. 1 – Объекты исследования.

Чтобы оценить эффективность введения фтора в структуру, провели окислительное изотермическое старение реактопластов при 300 °C в течение 400 часов. После этого фиксировали потери масс образцов и остаточные механические характеристики, а именно предел прочности при изгибе. В результате реактопласти на основе фторированных инициаторов поликонденсации продемонстрировали меньшие потери масс, при этом в большей степени сохранили механические характеристики после старения.

## Список литературы:

- [1] Terekhov V.E., Morozov O.S., Afanasieva E.S., Bulgakov B.A., Babkin A.V., Kepman A.V., Avdeev V.V. Mendeleev Communications **30**, 671-673 (2020).

## Благодарности

*Работа выполнена в рамках государственного задания Химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова (соглашение № AAAA-A21-121011590086-0).*

## 1-О-07

# СИНТЕЗ ДИМЕРОВ, ТРИМЕРОВ, ТЕТРАМЕРОВ И ПЕНТАМЕРОВ 5- Н-АЛКИЛНОРБОРНЕНА ПО СХЕМЕ МЕТАТЕЗИСА С ПОСЛЕДУЮЩИМ ГИДРИРОВАНИЕМ

Наземутдинова В.Р.<sup>1</sup>, Ильин С.О.<sup>1</sup>, Моронцев А.А.<sup>1</sup>, Возняк А.И.<sup>1</sup>, Бермешев М.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиеva Российской академии наук (ИНХС РАН), г. Москва  
*nazemutdinova@ips.ac.ru*

В качестве одной из основ синтетических масел могут быть использованы разветвленные олигомеры  $\alpha$ -олефинов. На эксплуатационные свойства таких масел положительно влияют большое число разветвлений и большая длина бокового заместителя. Олигомеры  $n$ -алкилзамещенных норборненов характеризуются похожим строением, поэтому потенциально могут быть использованы в качестве основы для моторного масла. В отличие от высокомолекулярных метатезисных и гидрированных поли(5- $n$ -алкил-2-норборненов) [1], полученных, в том числе, в присутствии агентов передачи цепи [2], олигомерные продукты на основе 5- $n$ -алкил-2-норборненов практически не описаны в литературе.

Целью данной работы является разработка методов получения олигомеров 5- $n$ -алкил-2-норборненов по реакции метатезисной полимеризации с раскрытием цикла в присутствии агента передачи цепи (гексена-1, этилена и диметилмалеата) и последующем гидрировании ненасыщенных продуктов (схема 1) как в результате тандемного синтеза, так и в присутствии [Ni] и [Pd] катализаторов.

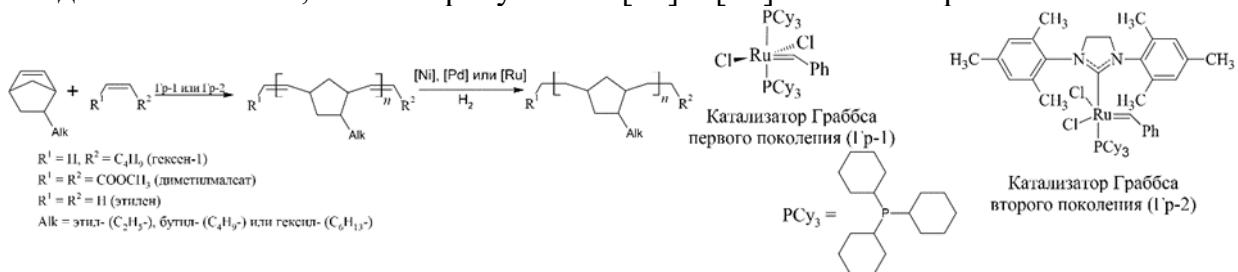


Схема 1 - Синтез гидрированных олигомеров 5- $n$ -алкилнорборненов.

В результате проведенного исследования впервые получены олигомеры 5-этил-, 5- $n$ -бутил- и 5- $n$ -гексил-2-норборнена, подобраны условия гидрирования двойных связей основной цепи. Все исходные и модифицированные олигомерные продукты разделены препаративной гельпроникающей хроматографией на отдельные фракции, характеризующиеся различными степенями полимеризации. Показано влияние молекулярной массы, природы основной цепи и заместителя в боковой цепи на термические и реологические свойства олигомера. Структура продуктов подтверждена <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C, ЯМР и ИК-спектроскопией.

## Список литературы:

- [1] Hatjopoulos J.D., Register R.A. // *Macromolecules*. 2005. V. 38. P. 10320.  
[2] Seo J.Y., Kang S.H., Lee M.R., et al. // *Macromol. Res.* 2022. V. 30. P. 205.

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 23-73-00126).

## 1-О-08

# СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ СТЕАРИЛМЕТАКРИЛАТА И АЗОТСОДЕРЖАЩИХ МОНОМЕРОВ И ПРИМЕНЕНИЕ ИХ В КАЧЕСТВЕ ПРИСАДОК К ГИДРООЧИЩЕННОМУ ДИЗЕЛЬНОМУ ТОПЛИВУ

Долганов Е.Д., Павловская М.В., Гришин Д.Ф.

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского*  
*raseroviaraser@gmail.com*

В настоящее время на нефтеперерабатывающих заводах многих стран мира производят дизельное топливо различного фракционного состава, в состав которого, как правило, входят парафиновые углеводороды с длинной цепи С15 – С18. Наличие указанных углеводородов приводит к нежелательному застыванию дизельного топлива даже в условиях небольшого понижения температуры, что отрицательно сказывается на его эксплуатационных характеристиках. В качестве добавок, улучшающих низкотемпературные свойства топлива, применяют депрессорные присадки, в качестве которых нередко используют сополимеры высших алкил(мет)акрилатов. Для эффективной работы депрессорной присадки немаловажными факторами являются молекулярно-массовые характеристики и состав сополимеров, целенаправленное регулирование которых возможно с помощью методов контролируемой радикальной полимеризации (КРП).

Нами с использованием КРП по механизму обратимой передачи цепи синтезированы сополимеры на основе стеарилметакрилата с N-винилпирролидоном, N-винилсукцинимидом и N-винилимидазолом в широком диапазоне мономерных смесей. В качестве передатчика цепи и регулятора молекулярно-массовых характеристик был использован 2-циано-2-пропилдодецилтритиокарбонат. Показано, что в присутствии указанного выше тритиокарбоната сополимеризация исследуемых мономеров протекает в режиме «живых» цепей, о чем свидетельствует линейная зависимость молекулярной массы образцов с увеличением конверсии, а также их узкое молекулярно-массовое распределение: полидисперсность образцов имеет значения 1.5-1.7 на глубоких степенях превращения. Методом Н1ЯМР – спектроскопии были определены составы синтезируемых сополимеров и рассчитаны относительные активности сополимеризующихся мономеров. Исследовано влияние ряда синтезированных сополимеров различного состава и молекулярной массы на низкотемпературные свойства гидроочищенного дизельного топлива. Установлено, что синтезируемые образцы оказывают значительное влияние на депрессорные свойства при их вовлечении в топливо при концентрациях от 200 до 1600 ppm. Депрессорный эффект в ряде случаев достигает 20°C. С целью исследования возможности применения присадки на основе сополимера стеарилметакрилата и N-винилпирролидона в качестве комплексной, нами было изучено её влияние на термоокислительные свойства дизельного топлива. Установлено, что синтезированные сополимеры способны улучшать данный показатель топлива при введении присадки на уровне 1600 ppm.

**Благодарности** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №25-23-20132).

## 1-О-09

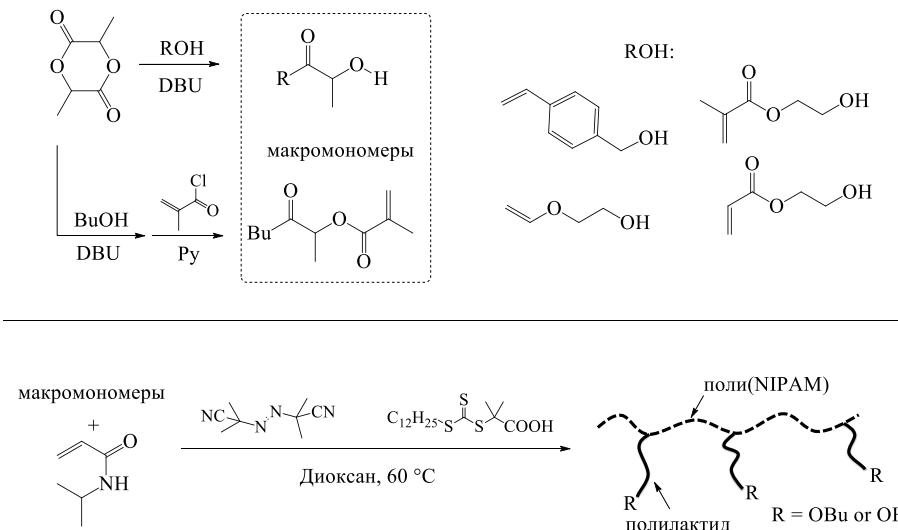
# СИНТЕЗ И ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ГРАФТ-СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА С БОКОВЫМИ ПОЛИЛАКТИДНЫМИ ЦЕПЯМИ

Ксендзов Е.А.<sup>1</sup>, Костюк С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Беларусский государственный университет, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Парижский институт молекулярной химии, Сорbonна, Париж, Франция  
zheniy-98@tut.by

(Со)полимеры N-изопропилакриламида (NIPAM) известны своей термочувствительностью в водных растворах, поэтому находят массу применений в фармацевтике, микробиологии, оптике, сенсорике. Поли(NIPAM), как и полилактид, нетоксичны и используются в фармацевтике для доставки лекарств и культивировании клеток. Графт-сополимеры NIPAM с D,L-лактидом должны иметь и термочувствительность в водных растворах, и частичную биодеградемость, и лучшую адгезию клеток к ним, по сравнению с гомополи(NIPAM). В данной работе будут представлены описание синтеза графт-сополимеров и результаты исследования их свойств.



### Стратегия синтеза графт-сополимера NIPAM с лактидом

Состав и структуру графт-сополимеров изучали при помощи  $^1\text{H}$  ЯМР спектроскопии. Изучение кинетики сополимеризации данным методом показало, что макромономеры с метакрилатной и акрилатной группами сополимеризуются с NIPAM с сопоставимыми скоростями, что в итоге приводит к случайному распределению сомономерных звеньев. В случае макромономеров, полученных с использованием инициаторов: 2-винилоксиэтанола и 4-винилбензилового спирта, - скорость сополимеризации макромономера соответственно выше и ниже в несколько раз, по сравнению со скоростью сополимеризации NIPAM.

Было показано, что значение нижней критической температуры растворения (НКТР) для графт-сополимеров уменьшается пропорционально массовой доле макромономерных звеньев. Также на НКТР влияет концевая функциональная группа боковой полилактидной цепи: в случае гидроксильной группы падение значения НКТР не такое значительное, как в случае бутильной группы.

## 1-О-10

# МЕДНАЯ ПЕНА КАК КАТАЛИЗАТОР АЗИД-АЛКИНОВОГО ЦИКЛОПРИСОЕДИНЕНИЯ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Беликова И.И.<sup>1,2</sup>, Безлекина К.А.<sup>1,3</sup>, Аристова В.А.<sup>1,2</sup>, Ардабьевская С.Н.<sup>1,3</sup>,  
Клокова К.С.<sup>1</sup>, Шкинев П.Д.<sup>1</sup>, Франк И. В.<sup>2,3</sup>, Андропова У.С.<sup>1</sup>, Дроздов Ф.В.<sup>1</sup>,  
Миленин С.А.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
г. Москва*

<sup>2</sup>*Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный*

<sup>3</sup>*Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого,  
г. Тула*

<sup>4</sup>*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,  
г. Москва  
i.belikova@ispmt.ru*

Кремнийорганические соединения объединяют в себе уникальную комбинацию из неорганической и органической составляющей, что определяет их особые свойства и области применения. Для введения органических заместителей и функциональных групп различной природы в структуру полиорганосилоксанов представляет особый интерес катализируемая медью реакция азид-алкинового циклоприсоединения (CuAAC), позволяющая проводить взаимодействия с количественными выходами, с широким рядом субстратов, а также в присутствии гетерогенных катализаторов [1, 2].

В ходе данной работы установлено, что медная пена в немодифицированном виде является эффективным катализатором реакции CuAAC. Подобраны условия проведения процесса, показана возможность повторного использования катализатора, проведено сравнительное микроскопическое исследование поверхности вспененной меди до и после рециклов. Разработан простой синтетический подход получения полидиметилсилоксанов (ПДМС) с концевыми ацетиленовыми группами по механизму раскрытия силоксанового цикла, включающий синтез широкого спектра кремнийорганических молекул и полимеров с использованием нового катализатора CuAAC. Показана высокая катализитическая активность этой формы меди по сравнению с другими опубликованными типами катализаторов на основе чистой меди.

### Список литературы:

- [1] Veerakumar P., Velusamy N., Thanasekaran P., Lin K., Rajagopal S. React. Chem. Eng. **7**, 1891 (2022).
- [2] Bezlepkin K.A., Belikova I.I., Aristova V.A., Klokovala K.S., Ardashovskaya S.N., Pereyaslavtsev A.Y., Migulin D.A., Milenin S.A. React. Chem. Eng. **9**, 448 (2024).
- [3] Bezlepkin K.A., Belikova I.I., Aristova V.A., Ardashovskaya S.N., Klokovala K.S., Shkinev P.D., Frank I.V., Andropova U.S., Drozdov F.V. Milenin S.A. React. Chem. Eng. Accepted.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 25-23-20028).

## 1-О-11

### СИНТЕЗ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ НОРБОРНЕОВ С ДВУМЯ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИМИ ЗАМЕСТИТЕЛЯМИ

Лежнин П.П.<sup>1</sup>, Бермешев М.В.<sup>1,2</sup>, Андреянов Ф.А.<sup>1</sup>, Розова Н.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт Нефтехимического Синтеза им. А.В. Топчиеva  
Российской Академии Наук, г. Москва

<sup>2</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
г. Москва  
*lezhnin.petr@ips.ac.ru*

Полинорборнены с двумя кремнийорганическими заместителями в мономерном звене являются перспективными мембранными материалами для выделения тяжелых углеводородов из природного газа [1,2]. Для их получения был синтезирован ряд дикремнийзамещенных норборненов путем биссилирования норборнадиена-2,5 дисиланами различного строения. Полученные замещенные норборнены были вовлечены в гомополимеризацию по метатезисному механизму в присутствии катализаторов Граббса и в сополимеризацию с 5-этилиден-2-норборненом по аддитивной схеме в присутствии однокомпонентных катализаторов на основе палладия (Схема 1). Данный подход позволил получить целевые продукты в две стадии, без использования труднодоступных металлоорганических соединений, с высокими выходами.

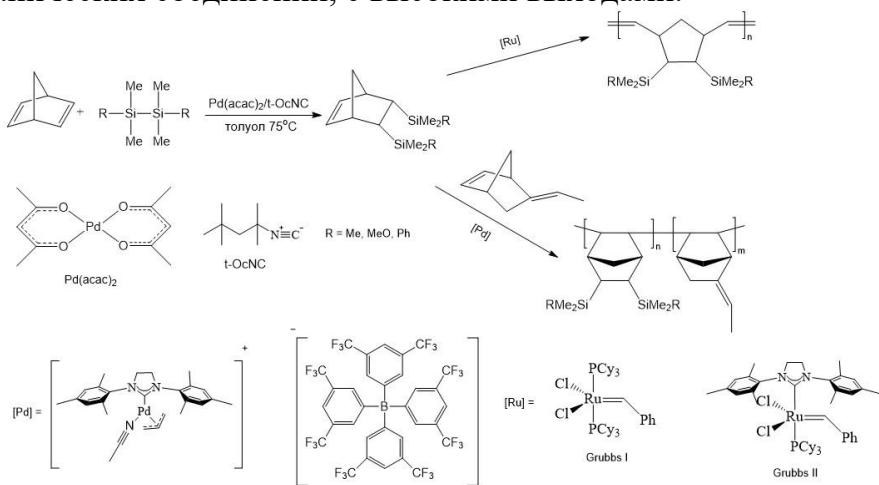


Схема 1 - Получение полинорборненов с двумя кремнийорганическими группами в мономерном звене

#### Список литературы:

- [1] М. В. Финкельштейн, Е. Ш. Бермешев, М. Л. Грингольц, and Ю. П. Старанникова, Л. Э. Ямпольский, “Замещенные полинорборнены-перспективные материалы для газоразделительных мембран,” Успехи химии, vol. 80, no. 4, pp. 362–383, 2011.
- [2] X. Wang, T. J. Wilson, D. Alentiev, M. Gringolts, E. Finkelshtein, M. Bermeshev, and B. K. Long, “Substituted polynorbornene membranes: a modular template for targeted gas separations,” Polym. Chem., vol. 12, no. 20, pp. 2947–2977, 2021.

#### Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ № 25-13-00478).

## 1-О-12

# ФТАЛОНИТРИЛСОДЕРЖАЩИЕ ФОТОПОЛИМЕРНЫЕ СМОЛЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОСТОЙКИХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ СТЕРЕОЛИТОГРАФИИ

Кондратьева А.А.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Химический факультет, г. Москва, Россия  
aleksanova\_aa@mail.ru*

Для получения трехмерных объектов существуют два принципиально разных подхода к получению изделий – субтрактивный (вычитающий) и аддитивный. К субтрактивным методам относят методы, предполагающие удаление материала с заготовки. Аддитивные технологии предполагают получение объекта заданной геометрии за счет послойного добавления материала, что позволяет получать более сложные формы и с меньшими затратами материала. Наиболее точным методом из аддитивных технологий является стереолитография (SLA) – технология получения трехмерных объектов путем фотоотверждения жидкой фотополимерной смолы УФ-излучением определенной длины волны. К недостаткам SLA относят получение объектов, не способных эксплуатироваться при температурах выше 150 °C.

В данной работе рассмотрены подходы к увеличению температуры эксплуатации изделий, полученных методом стереолитографии, за счет синтеза новых мономеров, содержащих фото- и термоотверждаемые фрагменты (Рис.1). В качестве термоотверждаемого фрагмента был выбран фталонитрил, который в результате реакции с ароматическими аминами образует наиболее термостойкие полизоиндолиновые, фталоцианиновые и триазиновые группы из полученных на сегодняшний день. В качестве фотоотверждаемых фрагментов были выбраны различные группы, такие как (мет)акриловые, (мет)акриламидные и малеимидные.

В работе приведена сравнительная характеристика полученных фотополимерных составов на основе данных мономеров, определены их параметры печати и конечные термические и механические свойства, температура эксплуатации которых превышает 200 °C.

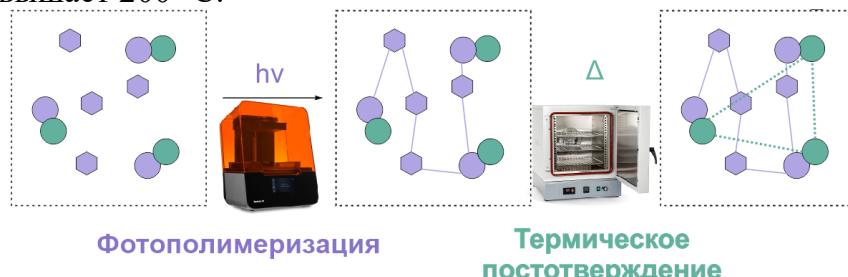


Рис. 1 – Схема получения термостойких изделий методом SLA.

## Список литературы:

- [1] S.S. Nechausov, A.A. Alekseeva, O.S. Morozov, B.A. Bulgakov, A.V. Babkin, A.V. Kerman, A.V. Avdeev, *Heat-Resistant Phthalonitrile-Based Resins for 3D Printing via Vat Photopolymerization*, ACS Appl. Polym. Mater. 6958–6968.

## Благодарности

*Работа выполнена в рамках государственного задания AAAA-A21-121011590086-0 Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.*

## 1-О-13

# ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ОЛИГОКАРБОНАТДИМЕТАКРИЛАТА ОКМ-2 С ДОБАВКАМИ ИЗОДЕЦИЛМЕТАКРИЛАТА

Юдин В.В., Храмова Д.В., Ковылин Р.С., Чесноков С.А.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева  
Российской академии наук  
yudin@iomc.ras.ru*

В настоящее время проводится множество исследований, направленных на разработку методов получения новых полимерных материалов. Одним из перспективных методов получения полимерных материалов является фотополимеризация. По сравнению с термоинициированием данный метод позволяет сократить время синтеза, проводить процесс в широком интервале температур, использовать композиции, в состав которых входят низкокипящие органические жидкости. На данный момент наиболее распространены фотополимеризующиеся композиции (ФПК) чувствительные к УФ-излучению, однако из-за самопоглощения и рассеяния инициирующего излучения компонентами композиции и образующейся полимерной структурой скорость полимеризации резко уменьшается по толщине слоя и процесс фотополимеризации ограничивается тонкими слоями ФПК. Это ограничивает возможность исследования структуры полимера во внутренних областях слоя. Для преодоления этого недостатка нами использованы инициирующие системы чувствительные к видимому излучению и позволяющие получать однородные по свойствам пористые полимерные блоки толщиной 2 мм. В данной работе синтезирована серия полимерных материалов на основе олигокарбонатдиметакрилата ОКМ-2 с добавками изодецилметакрилата (ИДМА). Полимеры исследованы методами электронной спектроскопии, газовой пикнометрии и сканирующей электронной микроскопии. Процесс полимеризации сопровождается помутнением образующегося полимерного стекла. По данным электронной спектроскопии видно, что с увеличением содержания ИДМА до 50 масс. % светопропускание стекла уменьшается, а затем снова возрастает. Зависимость функции величины светопропускания ( $T$ , %) на длине волны 450 нм от содержания ИДМА в композиции носит колоколообразный характер. Величина  $T$  на длине волны 450 нм практически не меняется от 0 до 30 масс. % ИДМА, затем падает к точке 50 масс. % ИДМА и снова резко увеличивается. Начиная с 65 масс. % содержания ИДМА помутнение полимерного образца исчезает. Значения  $T$  при 20 и 80 масс. % содержании ИДМА в композиции совпадают и находятся в районе 90%, минимальное значение  $T$  соответствует 50 масс. % содержанию ИДМА и достигает нескольких процентов.

### Благодарности

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 25-23-00702).*

## 1-О-14

### МИКТОЛУЧЕВЫЕ ЗВЕЗДООБРАЗНЫЕ ПОЛИМЕРЫ

Козина Н.Д.<sup>1</sup>, Блохин А.Н.<sup>1</sup>, Теньковцев А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Филиал НИЦ "Курчатовский институт" - ПИЯФ – ИВС, Санкт-Петербург,  
Россия  
*ndkozina@gmail.com*

Миктолучевые полимеры (асимметричные звёзды) - полимеры, представляющие собой звезды с лучами привитыми к единому центру ветвления, но отличающимися друг от друга химическим строением. Данный класс полимеров привлекает внимание за счет возможности получать новые свойства при сочетании различных лучей, в связи с чем за последнее время появилось множество новых подходов к синтезу основанных на принципе ортогональности и сочетания различных методов полимеризации, позволяющих получать полимеры с точно контролируемой структурой.

Работа посвящена описанию разработки нового подхода «прививка на» к синтезу миктолучевых звездообразных полимеров с лучами поли(2-алкил-2-оксазолин)а и полиэтиленгликоля с макроциклическим функциональным каликс[8]ареновым ядром. Развитием этого синтетического подхода стало получение шестнадцатилучевого микто-поли(2-алкил-2-оксазолин)а с применением комбинированного метода, сочетающего в себе подходы «прививка на» и «прививка от». Данный гибридный метод синтеза основан на использовании мультифункционального центра ветвления, содержащего ортогональный набор функциональных групп, одна часть которых служит для инициирования полимеризации («прививка от»), а другая – для сочетания с предварительно синтезированными полимерными лучами («прививка на»). В качестве мультифункционального агента был выбран каликс[8]арен с сульфонилхlorидными группами в верхнем ободе и гидразидными функциональными группами в нижнем.

Структура синтезированных полимеров подтверждена методом <sup>1</sup>H ЯМР спектроскопии. Молекулярно-массовые характеристики определены из данных статического светорассеяния и гельпроникающей хроматографии, доказана полная прививка лучей по всем функциональным группам каликс[8]ареного макроцикла. Кроме того изучен вопрос солюбилизации амфотерицина полученными миктополимерами. Амфотерицин - гидрофобный макроциклический антибиотик с противогрибковой активностью.

## 1-О-15

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНОКАТАЛИЗИРУЕМОЙ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ С ПЕРЕНОСОМ АТОМА МЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

Боровой Г.С.<sup>1,2</sup>, Вайтусёнок А.А.<sup>2</sup>, Кашина А.В.<sup>3</sup>, Якиманский А.В.<sup>3</sup>, Костюк С.В.<sup>4</sup>

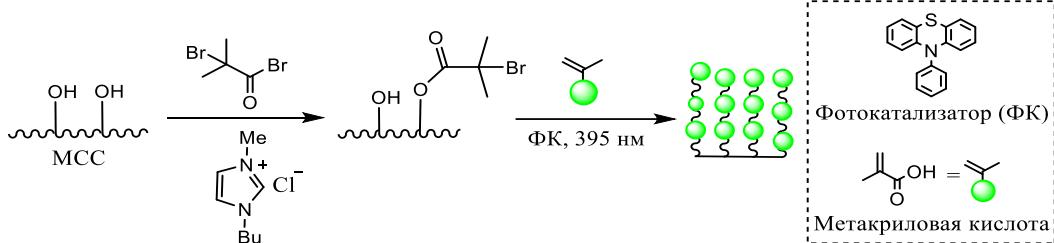
<sup>1</sup>Химический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь

<sup>3</sup>НИЦ "Курчатовский институт" – ПИЯФ – ИВС, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup>Sorbonne Universite, CNRS, Institut Parisien de Chimie Moleculaire, Equipe Chimie des Polymeres, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France  
glebborovoj268@gmail.com

Полиметакриловая кислота и сополимеры на её основе находят широкое применение в сенсорике, умных материалах, а также биомедицине. В частности, привитой сополимер целлюлозы и метакриловой кислоты был успешно использован для инкапсулирования противоракового препарата [1]. Прямой синтез (ко)полимеров метакриловой кислоты методом радикальной полимеризации с переносом атома (ATRP) – трудная задача, ввиду наличия большого числа побочных процессов, протекающих в присутствии медных катализаторов. Помимо этого, значительным недостатком является необходимость очистки полимеров, получаемых традиционной ATRP от металлсодержащих катализаторов с целью применения в биомедицине. В то же время органокатализируемая ATRP (O-ATRP) лишена таких недостатков, а потому нашла широкое применение в синтезе различных функциональных полимеров за последние 10 лет [2].



В данной работе была изучена O-ATRP метакриловой кислоты. Полученные гомополимеры характеризовались относительно узким молекулярно-массовым распределением (1,5-1,8) и среднечисловыми молекулярными массами 50-139 кДа. Природа концевых групп была подтверждена методом ЯМР <sup>1</sup>Н спектроскопии. С использованием разработанной инициирующей системы были получены привитые сополимеры целлюлозы (МСС) и метакриловой кислоты, которые были охарактеризованы различными физико-химическими методами анализа.

### Список литературы:

[1] Krasnopereva, E.L. [et. al.] Nanomaterials. **11**(8), 1997 (2021). [2] Corbin, D.A. [et. al.] Chem. Rev. **122**(2), 1830-1874 (2022).

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования Республики Беларусь (№ г.р. 20250859), а также ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия» (проект 2.1.01.03).

## 1-О-16

# МЕХАНОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ АЦИЛИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ХИТОЗАНА

Хавпачев М.А.<sup>1,2</sup>, Малык Б.В.<sup>1,2</sup>, Беканова М.З.<sup>3</sup>, Поцелеев В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
г. Москва*

<sup>2</sup>*Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко,  
г. Донецк*

<sup>3</sup>*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
mukhamed\_hav@mail.ru*

Важное место среди природных полимеров занимает полисахарид хитозан, получаемый по реакции деацетилирования хитина. Многочисленные исследования подтвердили способность полисахарида подавлять рост разнообразных бактериальных и грибковых культур [1, 2]. При этом проведение направленной химической модификации рассматривается как эффективный подход к усилению биологической активности хитозана. Наличие в молекулярной структуре реакционноспособных гидроксильных и аминогрупп открывает широкие возможности для получения производных с заданными физико-химическими и биологическими характеристиками [3].

Цель данной работы заключалась в получении гидрофобизированных производных хитозана механохимическим способом путем ацилирования полисахарида сорбиновой и салициловой кислотами в двухшнековом экструдере при комбинированном воздействии на твердые смеси давления и сдвиговых напряжений.

В работе синтезированы N-ацилированные производные хитозана со степенью замещения от 0.03 до 0.33 (по данным элементного анализа). Методом инфракрасной спектроскопии установлено, что твердофазные реакции протекают по смешанному механизму и сопровождаются присоединением кислот или их остатков к аминогруппам полимера ионными и ковалентными (амидными) связями. Показано увеличение термической стабильности для образцов с высокой степенью замещения относительно исходного хитозана. Обнаружено, что в разбавленных растворах синтезированных производных возникают межмолекулярные взаимодействия липофильного характера, приводящие к образованию агрегатов существенного большего размера по сравнению с хитозаном.

### **Список литературы:**

- [1] Kim J.-S., Kim Y. Nutrition Research and Practice **1**, 273 (2007).
- [2] Badawy M.E.I., Rabea E.I. International Journal of Biological Macromolecules **57**, 185 (2013).
- [3] Diab M.A., El-Sonbati A.Z., Al-Halawany M.M., Bader D.M.D. Open Journal of Polymer Chemistry **2** (1), 14 (2012).

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 25-23-00416).*

## **ПОЛУЧЕНИЕ ОРГАНОТРИАЗОЛТРИЭТОКСИСИЛАНОВ МЕТОДОМ ГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ ПОЛИКОНДЕНСАЦИИ**

**Аристова В.А.**<sup>1,3</sup>, Беликова И.И.<sup>1,3</sup>, Ульянкин Р.В.<sup>1,3</sup>, Клокова К.С.<sup>1</sup>,  
Безлекина К.А.<sup>1,2</sup>, Миленин С.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
г. Москва*

<sup>2</sup>*Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого,  
г. Тула*

<sup>3</sup>*Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный  
v.aristova@ispmt.ru*

Органотриалкооксисиланы представляют собой кремнийорганические молекулы, которые являются предшественниками широкого ряда олигомерных, полимерных структур, представляющих важное практическое значение, а также интерес в академических исследованиях [1].

В нашей работе мы обнаружили самокатализирующй эффект триазольного фрагмента, образующегося в результате азид-алкинового циклоприсоединения в реакции гидролиза и конденсации алкооксигрупп, что позволило получить ряд силлесквиоксановых продуктов только добавлением воды, без использования катализаторов [2].

В частности, были проварьированы соотношения мономерного алкооксисилана к воде и спирту. Исследованы молекулярно-массовые характеристики полученных силлесквиоксанов и их пленкообразующая способность. На основе полученного в результате гидролиза и конденсации органосиллесквиоксана с наибольшей молекулярной массой, с децильным функциональным фрагментом, было получено покрытие и исследованы его некоторые физико-химические свойства.

### **Список литературы:**

- [1] Wang, L. [et al.]. Chemical Society Reviews. **50**(11), 6507-6540 (2021).
- [2] Vasilissa A. Aristova, Dr. Kseniya A. Bezlepkinia [et al.]. ChemistrySelect. **8**(42), e202303431 (2023).

### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 25-23-20028).*

## 1-О-18

# ФОТОИНИЦИИРУЕМАЯ КАТИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ СТИРОЛА

Иванова Т.А.<sup>1</sup>, Гульник М.И.<sup>1,2</sup>, Костюк С.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Институт регенеративной медицины, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), ул. Трубецкая, д.8, стр.2, 119991, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета, ул. Ленинградская, д.14, 220006, Минск, Беларусь*

<sup>3</sup>*Sorbonne Universite, CNRS, Institut Parisien de Chimie Moleculaire, Equipe Chimie des Polymeres, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France  
ivanova\_t\_a\_2@staff.sechenov.ru*

Катионная полимеризация стирола традиционно проводится в присутствии катализитических систем на основе комбинации металлоксодержащей кислоты Льюиса и органического инициатора [1]. Главные недостатки такого подхода заключаются в использовании высоких концентраций кислот Льюиса и необходимости дальнейшей очистки полимера от соединений металлов. Благодаря доступности органических фотокатализаторов и их высокой эффективности фотокатализитические системы являются весьма перспективными для использования в катионной полимеризации. Кроме того, видимый свет как внешний стимул для инициирования процессов полимеризации обладает рядом преимуществ таких как высокая энергоэффективность, экологическая безопасность, легкодоступность светодиодов, а также возможность пространственно-временного контроля [2].

В данной работе нами предложена фотокатализитическая система на основе декакарбониладимарганца ( $Mn_2(CO)_{10}$ ) и гексафторфосфата дифенилиодония ( $(Ph_2I^+PF_6^-)$ ) для инициирования катионной полимеризации стирола под действием синего света ( $\lambda_{max} = 435$  нм). При использовании низких загрузок катализитической системы (< 7 мМ) успешно синтезирована серия полистиролов с  $M_n$  до 40000 г/моль и  $M_w/M_n < 3.0$  в среде  $CH_2Cl_2$  при -30°C. Изучено влияние температуры и концентраций компонентов катализитической системы на кинетику процесса и молекулярно-массовые характеристики синтезируемого полимера. Показано, что после введения добавки 1-бром-1-фенилэтана полимеризация демонстрирует признаки контролируемого процесса, на что указывает увеличение  $M_n$  полимера с ростом конверсии и уменьшение показателя полидисперсности.

### Список литературы:

- [1] S. Aoshima, S. Kanaoka. Chem. Rev., **109**, 5245–5287 (2009).
- [2] M. Chen, M. Zhong, J.A. Johnson. Chem. Rev., **116**, 10167–10211 (2016).

### Благодарности

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта соглашение № 075-15-2025-015 (Сеченовский Университет).*

## 1-О-19

# ГРЕБНЕОБРАЗНЫЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТЫ НА ОСНОВЕ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ АКРИЛОВОЙ И МЕТАКАРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

Левит С.И.<sup>1</sup>, Фетин П.А.<sup>1</sup>, Кадников М.В.<sup>1</sup>, Зорин И.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский Государственный Университет, г. Санкт-Петербург  
si.levit@mail.ru

В настоящее время наблюдается тенденция к переводу важных и широко используемых органических реакций в экологически чистые растворители. Применение для этого поверхностно-активных веществ (ПАВ) открывает новые горизонты в области "зеленой" химии и использовании воды как единственного растворителя. Под мицеллярным катализом понимается комплекс явлений, приводящих к изменению скорости химической реакции в воде в присутствии поверхностно-активных веществ. Относительно малоизученными в мицеллярном катализе являются мицеллы, образованные гребнеобразными полиэлектролитами. Их исключительной особенностью является крайне низкие значения ККМ (стремящиеся к нулевому значению), что позволяет наблюдать мицеллярно-катализические эффекты при крайне низких концентрациях ПАВ [1]. В этой работе мы получили гребнеобразные полиэлектролиты на основе сложных эфиров метакриловой и акриловой кислот. Исходным веществом для синтеза серии ПАВ являлся метакрилоил/акрилоил-11-бромундеканол (MAU-Br и AU-Br). Далее были получены различные амины, к примеру, метокситриэтиленгликольные производные пиперидина и диэтиламина MPEG-3-Pepi и MPEG-3-NEt<sub>2</sub> соответственно. Дальнейшей реакцией кватернизации MAU-Br получен набор аммонийных ПАВ. Схема синтеза одного из мономеров (MAU-MPEG-3-Pepi) представлена на Рисунке 1. После полимеризации мономеров проведено сравнение физико-химических свойств полиэлектролитов и оценена их применимость в качестве катализаторов модельной реакции Сузуки.

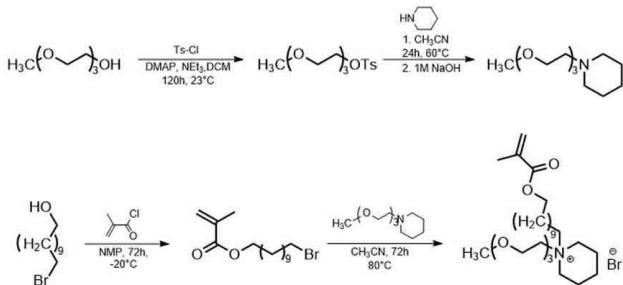


Рис. 1 - Схема синтеза MAU-MPEG-3-Pepi.

## Список литературы:

- [1] Zorin I.M., Kadnikov M.V., Fetin P.A. Russian Journal of General Chemistry **94**, 1, S148–S156 (2024).

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№24-73-00193). Авторы выражают благодарность ресурсным центрам СПбГУ: Методы анализа состава вещества, магнитно-резонансные методы исследования и криогенному отделу.

## 1-О-20

# СИНТЕЗ И ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МУЛЬТИБЛОЧНЫХ АНТРАЦЕНСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИУРЕТАНОВ

Ященко Д.В.<sup>1</sup>, Смыслов Р.Ю.<sup>2</sup>, Ваганов Г.В.<sup>2</sup>, Бугров А.Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Филиал НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ - ИВС, г. Санкт-Петербург  
yashchenko.di99@yandex.ru

Светочувствительные материалы на основе мультиблочных полиуретанов (ПУ) с фотоактивными группами в боковых цепях представляют значительный интерес с точки зрения разработки многофункциональных покрытий с регулируемой морфологией поверхности, а также селективно-восприимчивых к излучению определенной длины волны исполнительных устройств дистанционного срабатывания. В данной работе синтез такого рода систем осуществлялся на основе сегментированных ПУ, гибкие алифатические блоки которых были представлены поликапролактон диолом с молекулярной массой 2000 Да (2000ПКЛ), а ограничивающие их подвижность жесткие ароматические сегменты состояли из 4,4'-метилендифенилдиизоцианата (МДИ) и 3-(N,N бис(2-гидроксиэтил)амина)пропионовой кислоты - 9-антраценметанолового эфира (ГАПКАМЭ). Синтез светочувствительного мультиблочного ПУ проводился по двухстадийной схеме. Сначала проводили реакцию между 2000ПКЛ и МДИ в расплаве, а затем к образовавшимся макродиизоцианатам МДИ-2000ПКЛ-МДИ добавляли антраценсодержащий низкомолекулярный диол. После набора полимером молекулярной массы из него на стеклянной подложке формировали пленку методом полива. Химическая структура полученной полиуретановой пленки была подтверждена с помощью ИК и ЯМР-спектроскопии. Растворы светочувствительного мультиблочного ПУ в диметилсульфоксиде исследовалась методами УФ и люминесцентной спектроскопии, чтобы оценить изменение содержания антрацена в полимерном материале до и после его облучения ультрафиолетом. С помощью данных методов исследовалась кинетика процесса фотодимеризации антраценсодержащих звеньев в структуре сегментированного ПУ, а также эффективность расщепления образовавшихся межмолекулярных сшивок при нагревании.

Механические и поверхностные свойства пленки сегментированного ПУ с ГАПКАМЭ в качестве удлинителя цепи исследовалась до и после ее облучения светом с длиной волны выше 260 нм. Для облученной пленки светочувствительного ПУ фиксировались более высокие значения модуля упругости и предела прочности при разрыве, что также свидетельствует о формировании межмолекулярных поперечных сшивок в результате реакции циклоприсоединения между антраценовыми группами в боковой цепи. При последующем нагревании мультиблок-сополимера происходило частичное расщепление образовавшихся сшивок с восстановлением деформационно-прочностных свойств материала.

Все эти данные подтверждают возможность применения светочувствительных антраценсодержащих ПУ в качестве функционального покрытия способного к многократному изменению структуры под действием излучения и других внешних факторов с последующим восстановлением исходных характеристик.

## 1-О-21

# ПОЛИМЕРЫ СТИРОЛЬНОГО ТИПА НА ОСНОВЕ ЗАМЕЩЁННОГО БЕНЗОНИТРИЛА КАК ЭМИТТЕРЫ ДЛЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СВЕТОДИОДОВ

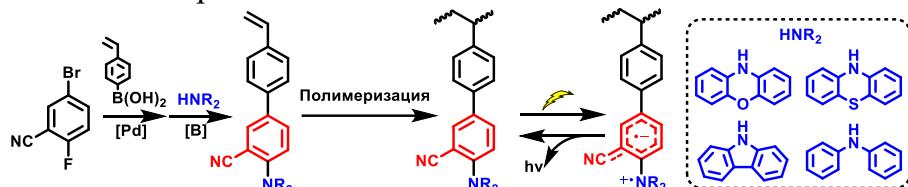
Шарайчук А.Д.<sup>1</sup>, Белоусов Г.К.<sup>1,2</sup>, Вайтусёнок А.А.<sup>1,2</sup>, Костюк С.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь

<sup>2</sup> Институт регенеративной медицины, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский университет), Москва, Россия

<sup>3</sup> Sorbonne Universite, Institut Parisien de Chimie Moleculaire, Equipe Chimie des Polymeres, Paris, France  
george.vusau@gmail.com

Соединения, обладающие термически активированной отложенной флуоресценцией (ТАДФ), являются перспективными эмиттерами для создания на их основе эффективных органических светодиодов, так как позволяют преобразовывать в свет как синглетные, так и триплетные экситоны. Использование полимерных материалов в свою очередь позволяет существенно увеличить срок службы светодиодов благодаря высокой морфологической и термостабильности высокомолекулярных соединений, а также удешевить их изготовление за счёт использования т.н. “растворных” методов нанесения полимеров, таких как спин-коутинг и инкджет-принтинг. Одним из наиболее распространённых подходов к достижению ТАДФ свойств является уменьшение разницы энергий синглетного и триплетного возбуждённых состояний за счёт введения в структуру групп с ярко выраженнымми электрон-донорными и электрон-акцепторными свойствами, минимизируя при этом интегралы перекрывания локализованных на них орбиталей [1,2]. В ходе настоящей работы на основе результатов квантово-химических расчётов нами была предложена серия новых полимеров стирольного типа, содержащих в своей структуре бензонитрильный фрагмент в качестве акцепторной группы и различные дизамещённые амины в качестве донорных групп. На примере синтезированных полимеров было изучено влияние донорного заместителя на фотофизические характеристики полимеров, а также на их электрохимические и термические свойства.



### Список литературы:

- [1] Yin, X. [et al.] Front. Chem. **8**, 725 (2020).  
[2] Belousov, G.K. [et al.] Macromolecules. **56**, 2686-2699 (2023).

### Благодарности

Работа выполнена в рамках государственной программы научных исследований «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия» (задание 2.1.01.03, № гос. регистрации 20210512).

## 1-О-22

# ТИОЛ-ЕН ПРИСОЕДИНЕНИЕ МЕРКАПТОКИСЛОТ К АЛЛИЛСИЛАНАМ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛ И ПОЛИМЕРОВ

Крылов Ф.Д.<sup>1</sup>, Беликова И.И.<sup>1,2</sup>, Безлекина К.А.<sup>1,3</sup>, Ардабьевская С.Н.<sup>1,3</sup>,  
Миленин С.А.<sup>1,3</sup>, Музрафаров А.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт синтетических полимерных материалов  
имени Н.С. Ениколопова РАН, г. Москва

<sup>2</sup>Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого,  
г. Тула

<sup>3</sup>Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный  
*krylov@ispmt.ru*

Реакция тиол-ен присоединения играют важнейшую роль в современной химии, в том числе кремнийорганической, для функционализации низкомолекулярных кремнийорганических молекул, а также постполимеризационной функционализации и сшивания силоксановых полимеров [1,2].

Известно, что реакция тиол-ен присоединения может протекать по нескольким механизмам - радикальному, а также электрофильному или нуклеофильному присоединению. В любом случае, как правило, для активации реакции тиол-присоединения необходим какой-либо катализатор или инициатор, в зависимости от механизма.

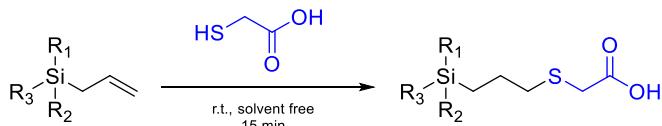


Рис. 1 – Реакция тиол-ен присоединения.

В нашей работе мы обнаружили, что меркаптоуксусная кислота и некоторые другие меркаптокислоты легко взаимодействует с аллилсиланами без какого-либо катализитического воздействия, инициаторов или специального облучения (Рисунок 1). Нами было проведено исследование этого процесса: синтезирован широкий ряд, молекул, содержащих аллильную группу при атоме кремния, в том числе в составе карбосилановых дендримеров. Кроме того, на основе карбоксифункциональных дисилоксанов получены ПДМС с концевыми карбоксильными группами (рисунок 2).

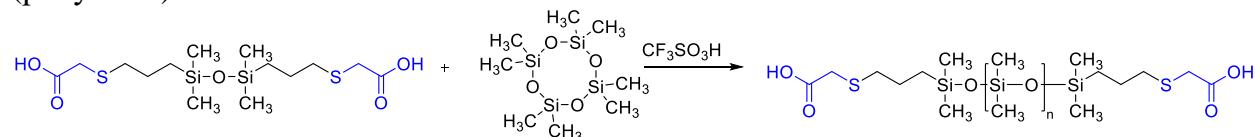


Рис 2. Схема получения карбоксилсодержащих ПДМС

## Список литературы:

- [1] Andrew B. Lowe Polym. Chem., **1**, 17-36 (2010).
- [2] Tucker-Schwartz A.K., Farrell A.R., Garell R.L. J. Am. Chem. Soc., **133**, 11026–11029 (2011).

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 21-73-30030).

## 1-О-23

# МЕТАКРИЛАТ- И МЕТАКРИЛАМИД-ФТАЛОНИТРИЛЬНЫЕ ФОТОПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ СТЕРЕОЛИТОГРАФИИ

Горовая Е.М., Кондратьева А.А.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва  
ekaterina.gorovaia@chemistry.msu.ru*

Стереолитография – одна из технологий 3D-печати, основанная на фотоинициированной полимеризации жидкой фотополимерной смолы для получения твердых моделей. Она обладает рядом преимуществ перед остальными технологиями: высокой разрешающей способностью и сравнительно большой скоростью печати, поэтому в настоящее время стереолитография используется во многих важных областях: прототипировании, электронике, архитектуре и медицине.

В последнее время разрабатываются более термостойкие составы по сравнению с коммерчески доступными смолами, чтобы расширить сферу применения данной технологии [1-3]. В настоящей работе синтезированы 4 ранее не описанных в литературе мономера, содержащих метакриловый и фталонитрильный фрагменты. Растворимость одного из полученных мономеров 3-(3,4-дицианофенокси)фенилметакрилата в сомономере (4-акрилоилморфолине) составила 66% масс.

Термические свойства образцов, содержащих полученные мономеры, улучшали путем двойного отверждения – на первом этапе в 3D-принтере под действием УФ-излучения происходит полимеризация кратных связей метакриловых фрагментов с образованием трехмерной модели заданной геометрии, на втором этапе в ходе термического отверждения происходит образование термостабильные триазиновые и фталоцианиновые группы, что ведет к увеличению степени сшивки внутри полученной модели.

На данный момент разработаны 4 состава с каждым из мономеров. Параметры 3D-печати для них были подобраны методом Джейкобса [4]: для получения слоя полимера разработанного состава толщиной 50 мкм требуется 29 секунд засветки. Для печати полученных композиций использовался 3D-принтер Phrozen Sonic 8K S. Для полученного состава с мономером с лучшей растворимости определены пределы прочности при растяжении и при изгибе после фотоотверждения и после постотверждения при ожидаемой температуре эксплуатации, равной 200 °C.

### Список литературы

- [1] Z. Zhou, Y. Li, J. Zhong. Appl. Polym. Mater. **12**, 38682 (2020). [2] S.S. Nechausov, A.A. Aleksanova, O.S. Morozov, B.A. Bulgakov, A.V. Babkin, A.V. Kertman, A.V. Avdeev. ACS Appl. Polym. Mater. **4**, 6958 (2022). [3] Yong Lu, Jingdan Hu, Kok Wei Joseph Ng, Xiao Hu. Additive Manufacturing **83**, 104053 (2024). [4] Jacobs P.F. Fundamentals of stereolithography (1992).

### Благодарности

*Работа выполнена в рамках государственного задания AAAA-A21-121011590086-0 Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.*

## **СЕКЦИЯ 1**

***СИНТЕЗ И МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ***

**СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

## 1-Р-01

# СИНТЕЗ ЗВЕЗДООБРАЗНЫХ ПОЛИСТИРОЛОВ МЕТОДОМ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ С ПЕРЕНОСОМ ЦЕПЕЙ НА СУЛЬФОНИЛХЛОРИДЫ

Блохин А.Н.<sup>1</sup>, Разина А.Б.<sup>1</sup>, Кирилэ Т.Ю.<sup>1</sup>, Филиппов А.П.<sup>1</sup>, Теньковцев А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» – Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
blokhin\_an@hq.macro.ru

Реакция переноса цепей на монофункциональные сульфонилхлориды при радикальной полимеризации стирола обсуждалась ранее в литературе [1]. В настоящей работе методом классической радикальной полимеризации с переносом цепей на полифункциональные сульфонилхлориды синтезированы звездообразные полистиролы с каликс[8]ареновым центром ветвления (Рис. 1). В качестве инициатора радикальной полимеризации использован динитрил азобisisомасляной кислоты. Полимеризация стирола проводилась в среде хлорбензола при 60°C в присутствии сульфохлорированного производного каликс[8]арена в качестве полифункционального агента передачи цепей. Показана возможность синтеза звездообразных полистиролов с варьируемой длиной полимерных цепей. Молекулярно-массовые характеристики полученных образцов исследовались методами гель-проникающей хроматографии и светорассеяния. Структура образцов подтверждалась спектральными методами анализа.

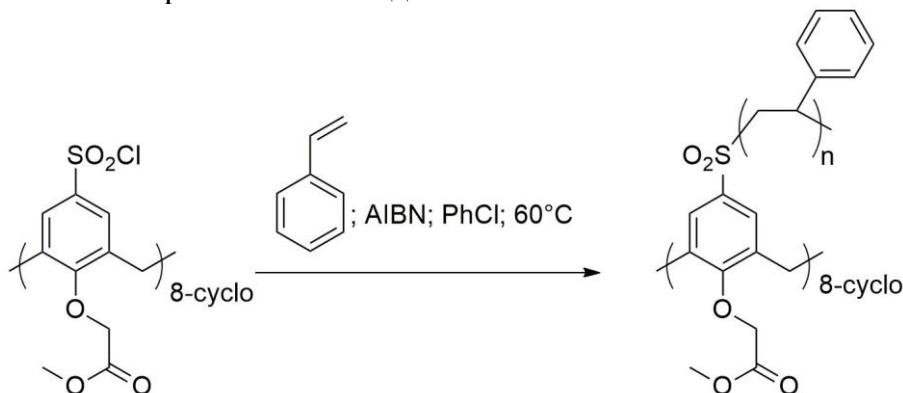


Рис. 1 – Схема синтеза звездообразного полистирола.

## Список литературы:

- [1] Li C., Fu Z., Shi Y. Macromolecular Research 17, 557 (2009).

## 1-Р-02

# КОНТРОЛИРУЕМАЯ КАТИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ИЗОБУТИЛЕНА В УГЛЕВОДОРОДНЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ

Богдан Н.С.<sup>1,2,3</sup>, Клачёк М.А.<sup>1,2</sup>, Шиман Д.И.<sup>2,3</sup>, Костюк С.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Химический факультет Белорусского государственного университета, г. Минск,  
Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химическим  
проблем», г. Минск, Республика Беларусь*

<sup>3</sup> *Институт регенеративной медицины Научно-технологического парка  
биомедицины Сеченовского университета, г. Москва, Российская Федерация*

<sup>4</sup>*Sorbonne Universite, CNRS, Institut Parisien de Chimie Moleculaire, Equipe Chimie  
des Polymeres, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France  
bogdan\_n\_s@staff.sechenov.ru*

Благодаря своей эластичности, низкой газопроницаемости и биосовместимости, полизобутилен (ПИБ) с заданными молекулярно-массовыми характеристиками является ключевым компонентом широкого спектра высокотехнологичных полимерных материалов – от герметиков [1] до покрытия коронарных стентов [2]. Однако контролируемая катионная полимеризация изобутилена (ИБ) сопряжена с использованием токсичных хлорорганических растворителей и тетрахлорида титана, который необходимо использовать в больших концентрациях для обеспечения высокой скорости полимеризации. В данной работе впервые продемонстрирована контролируемая катионная полимеризация ИБ в толуоле, в присутствии инициирующей системы 1,4-ди(2-хлор-2-пропил)бензол/ $\text{FeCl}_3 \times 1,0^{\circ}\text{PrOH}$  при  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Было показано, что в этих условиях молекулярную массу ПИБ можно регулировать соотношением мономер/инициатор, а образующиеся полимеры отличаются низкой полидисперсностью. В присутствии значительно более низких концентраций  $\text{FeCl}_3$  (по сравнению с  $\text{TiCl}_4$ ) были синтезированы дифункциональные низкомолекулярные ПИБ ( $M_n$  от  $1200\text{ g}\cdot\text{моль}^{-1}$  до  $7000\text{ g}\cdot\text{моль}^{-1}$ ,  $\bar{M} < 1,3$ ). В связи с образованием геля в реакционной среде при синтезе ПИБ с большей молекулярной массой в толуоле при  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , также была исследована перспективность применения в качестве растворителя смесей толуола и гексана. Действительно, при использовании толуол/гексан 50:50 об./об. удалось получить ПИБ с  $M_n$  вплоть до  $52,000\text{ g}\cdot\text{моль}^{-1}$  и  $\bar{M} < 1,3$ . Таким образом, был разработан новый подход к контролируемой катионной полимеризации ИБ, позволяющий избежать использования токсичных хлорорганических растворителей и высоких концентраций со-инициатора.

### Список литературы:

[1] Bag M., Banerjee S., Faust R., Venkataraman D. Solar Energy Materials and Solar Cells **145** (3), 418-422 (2018). [2] Puskas J.E., Chen Y., Dahman Y., Padavan D. Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry **42** (13), 3091-3109 (2004).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта соглашение № 075-15-2025-015 (Сеченовский Университет).

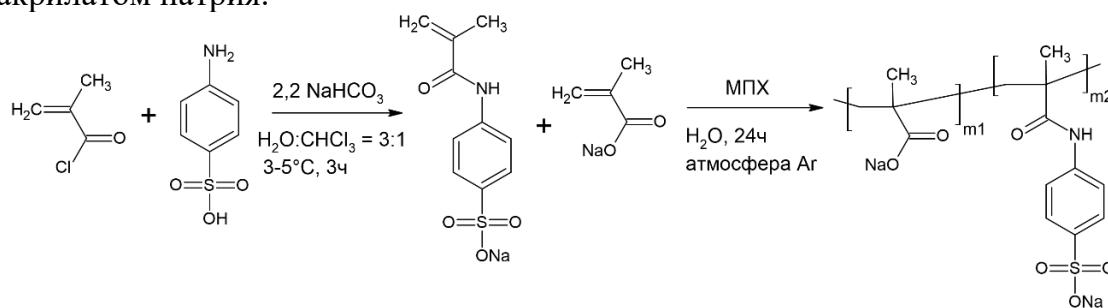
## 1-Р-03

# СИНТЕЗ 4-МЕТАКРИЛАМИДОФЕНИЛСУЛЬФОНАТА НАТРИЯ И ЕГО (СО)ПОЛИМЕРОВ С МЕТАКРИЛАТОМ НАТРИЯ

Вагин А.А., Красова А.С., Тарабукина Е.Б., Панарин Е.Ф.

Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» -  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
aav@hq.macro.ru

Поиск новых высокомолекулярных соединений, обладающих противовирусной активностью, и выявление взаимосвязи их физико-химических и биологических характеристик в настоящий момент привлекает внимание многих исследователей. Известно, что сульфосодержащие (ко)полимеры, например полимеры на основе стиролсульфоната натрия, проявляют противовирусные свойства [1]. В настоящей работе синтезирован его аналог, содержащий арилсульфоновую группу – 4-метакриламидофенилсульфонат натрия, а также его гомополимер и сополимеры с метакрилатом натрия.



4-метакриламидофенилсульфонат натрия получали в условиях реакции Шоттена-Баумана, ацилируя сульфаниловую кислоту хлорангидридом метакриловой кислоты, в среде хлороформ-вода при 3-5°C в присутствии 2-кратного избытка гидрокарбоната натрия в течение 3 ч. Продукт выделяли высадиванием и перекристаллизовывали из 80% этанола. Гомополимер и сополимеры 4-метакриламидофенилсульфоната натрия с метакрилатом натрия синтезировали радикальной сополимеризацией в воде в присутствии инициатора 2,2'-азобисметилпропионамидин дигидрохлорида в атмосфере аргона при 60°C в течение 24 ч. (ко)полимеры очищали диализом против воды и выделяли лиофильной сушкой. Структуру соединений подтверждали ИК- и ЯМР-спектроскопией, состав сополимеров определяли УФ-спектроскопией на длине волны 253 нм по калибровочной кривой, построенной для гомополимера. Молекулярные массы оценивали методом статического светорассеяния в водно-солевых растворах NaCl. По предварительным данным, полученным сотрудниками НИИ гриппа им. А.А. Смородинцева, (ко)полимеры показали высокую противовирусную активность в отношении вируса простого герпеса 1 типа при низкой цитотоксичности в отношении клеточной культуры Vero.

### Список литературы:

- [1] Разгуляева Д.Н., Клабуков А.М., Галочкина А.В., Гаршинина А.В., Журавская О.Н., Гавrilова И.И., Манахов В.А., Нестерова Н.А., Штрод А.А. Панарин Е.Ф. Антибиотики и химиотерапия. **68**, 34–41, (2023).

**ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ДИАНГИДРИДА НА ТЕРМИЧЕСКИЕ И  
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕГМЕНТНЫХ  
ПОЛИМОЧЕВИНИМИДОВ**

Васильев Б.В.<sup>1,2</sup>, Попова Е.Н.<sup>1</sup>, Гофман И.В.<sup>1</sup>, Светличный В.М.<sup>1</sup>, Бугров А.Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Филиал НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ-ИВС, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, г. Санкт-Петербург*

*boris8152@gmail.com*

Сегментные полимочевины (ПМ) – это класс полимерных материалов, полученных в результате реакции поликонденсации дизоцианатов с диаминами. Мультиблочная структура ПМ, состоящих из гибких алифатических и жестких ароматических сегментов, позволяет получать на их основе составы со свойствами термоэластопластов и эффектом памяти формы. Это достигается в результате процессов микрофазного разделения термодинамически несовместимых сегментов различной химической природы. Эффект микросегрегации ароматических блоков может быть усилен за счет образования бидентантных водородных связей между мочевинными группами, что приводит к формированию сильно связанных доменов жесткой фазы, выступающих в роли физических узлов межмолекулярных сшивок. Варьирование химической структуры диаминов и дизоцианатов позволяет получать ряд ПМ с широким разнообразием термомеханических свойств. При получении этих полимеров могут использоваться различные удлинители цепи (низкомолекулярные диолы, диамины, диангидриды). Добавление удлинителя цепи может оказывать влияние на молекулярно-массовые характеристики полимера, на длину жесткого блока и возможность упаковки этих блоков в доменные структуры. Использование в качестве удлинителя цепи диангидридов позволяет не только влиять на все вышеперечисленное, но и может улучшить термостойкость полимера за счет образования имидных циклов.

В данной работе было изучено влияние используемого в синтезе растворителя и структуры диангидрида как удлинителя цепи на термические и механические свойства сегментных полимочевинимидов (ПМИ). Ряд мультиблочных сополимеров был синтезирован по двухстадийной методике. На первой стадии в амидном растворителе при продувке аргоном получали макродизоцианат путем добавления 1,4-фенилендизоцианата к полиоксипропилендиамину ( $M_w = 2000$  г/моль) в количественном соотношении 2:1. На второй стадии к макродизоцианату в качестве удлинителя цепи добавлялся диангидрид БЗФ, диангидрид А или пиromеллитовый диангидрид. В качестве растворителя использовались диметилформамид и N-метилпирролидон. Структура всех полученных ПМИ была подтверждена методами ИК и ЯМР-спектроскопии. Термические свойства полученных систем были определены с помощью методов ТГА и ДСК. Механические свойства были измерены в режиме одноосного растяжения. Показано, что пленки синтезированных ПМИ термически стабильны вплоть до 330°C ( $\tau_5$ ). По результатам механических испытаний установлено, что большинство синтезированных термоэластопластов на основе ПМИ обладает достаточно высокими значениями модуля упругости и предела прочности при сохранении большой относительной деформации.

## 1-Р-05

# ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СИНТЕЗА ТЕТРАПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ 2-ЭТИЛГЕКСИЛАКРИЛАТА, ВИНИЛАЦЕТАТА, МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА И АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

Вихирева А.Д.<sup>1,2</sup>, Лешина М.Н.<sup>1</sup>, Генералова Е.Н.<sup>1</sup>, Ширшин К.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ООО «Компания Хома», г. Дзержинск

<sup>2</sup>Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,  
г. Нижний Новгород  
vihireva2000@gmail.com

В современной химии полимеров коммерческое значение многокомпонентной полимеризации значительно возросло. Это объясняется тем, что она представляет собой один из наиболее удобных методов модификации свойств полимеров. В зависимости от требуемых свойств и интересующих областей применения открывается широкий спектр комбинаций мономерного состава.

В данной работе методом радикальной полимеризации были синтезированы тетраполимеры, состоящие из 2-этилгексилакрилата (2-ЭГА), винилацетата (ВА), метилметакрилата (ММА) и акриловой кислоты (АК). В ходе синтеза с помощью газовой хроматографии оценивалась конверсия полимеров с течением времени полимеризации. Поскольку ВА является неактивным мономером из-за отсутствия сопряженной двойной связи с ненасыщенной ацетатной группой заместителя, в изучаемой системе скорость присоединения радикалов роста к мономеру винилацетата была самой низкой. С увеличением времени синтеза содержание остаточного ВА в тетраполимере снижалось.

Состав полученных образцов был подтвержден методом инфракрасной спектроскопии, при этом ИК-спектры были охарактеризованы в зависимости от состава мономерной смеси.

Анализ молекулярно-массовых характеристик синтезированных тетраполимеров проводили с помощью гель-проникающей хроматографии. Получены зависимости молекулярной массы тетраполимеров 2-ЭГА-ВА-ММА-АК от концентрации радикального инициатора – динитрилазобисизомасляной кислоты (ДАК), а также сшивающего агента – 2-ацетоацетоксиэтилметакрилата (ААЭМА). Показано, что при увеличении концентрации сшивающего агента возрастает молекулярная масса полимера, причем существует предельная [ААЭМА], выше которой происходит гелеобразование.

Таким образом, в работе показано влияние времени полимеризации на степень превращения мономеров в полимер. Установлена зависимость молекулярно-массовых характеристик полученных образцов от концентрации инициатора и сшивающего агента. Оценена интенсивность характеристических полос поглощения соответствующих пиков на ИК-спектрах полимеров в зависимости от мономерного состава. В результате проведенного исследования изучены особенности синтеза тетраполимеров 2-ЭГА-ВА-ММА-АК.

## 1-Р-06

# СИНТЕЗ РН-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ АГЕНТОВ ОБРАТИМОЙ ПЕРЕДАЧИ ЦЕПИ И ИЗУЧЕНИЕ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ПОЛИМЕРИЗАЦИЮ ВИНИЛОВЫХ МОНОМЕРОВ

Власов А.М.<sup>1</sup>, Власова А.О.<sup>1</sup>, Зайцев С.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н. И. Лобачевского  
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]. Использование pH-чувствительных агентов обратимой передачи цепи, способных изменять свою активность под воздействием pH среды, позволяет значительно расширить области его применения [2,3].

В работе был впервые проведен синтез pH-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 в рассмотренных концентрациях обеспечивают контролируемый характер гомополимеризации стирола, винилацетата и метилакрилата; полученные полимерные образцы имеют низкое значение дисперсности, а их молекулярная масса линейно возрастает с конверсией. Полимеризация метилметакрилата в присутствии ЦМПК и ЦМПКМ не проявляет признаков контролируемого процесса. Показано влияние концентрации и формы агента на кинетику полимеризации и молекулярно-массовые характеристики образцов: в гомополимеризации стирола и метилакрилата протонированная форма агентов показала лучшие результаты, тогда как в случае винилацетата эффективнее оказалась нейтральная форма. Полимерный ОПЦ агент полистирол-ЦМПК показал себя как эффективный полимерный агент и позволил синтезировать блок-сополимер стирола и винилацетата со значениями дисперсности <1.2.

При поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

### **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).

**РЕТ-RAFT ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА  
В ПРИСУТСТВИИ ДИОКСИДА ТИТАНА И ПОЛИМЕРНЫХ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЕГО ОСНОВЕ**

Власова А.О., Краснова В.В., Чичаров А.А., Зайцев С.Д.

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия  
alexx.grigoreva@gmail.com*

В фотоиндуцированной полимеризации с переносом электрона/энергии с обратимой передачей цепи, протекающей по механизму присоединения-фрагментации (PET-RAFT) агент обратимой передачи цепи (RAFT-агент) выступает как в роли агента передачи цепи, так и в роли инициатора, вступая во взаимодействие с фотокатализатором. В данной работе фотокатализатором является порошкообразный диоксид титана, а также композиты на его основе. Модификация  $TiO_2$  позволяет снизить ширину запрещенной зоны с 3.35 до 1.8 эВ.

Целью данной работы является исследование PET-RAFT полимеризации метилметакрилата в присутствии диоксида титана и полимерных композиционных материалов на его основе. Полимеризация проводилась в УФ (315-400 нм) и в видимой области спектра (синий свет 450-470 нм и зеленый свет 500-520 нм). Зависимость конверсии в полулогарифмических координатах от времени имеет линейный характер (Рис. 1). Скорость процесса в синем свете оказывается выше, чем в двух других областях. Однако молекулярно-массовое распределение образцов, полученных в синем свете, увеличивается с ростом конверсии. В зеленом свете, как и в УФ-области молекулярно-массовое распределение остается постоянным в течении времени ( $\vartheta = 1.4$ ), сохраняется линейная зависимость среднечисловой молекулярной массы от конверсии, а также совпадает скорость процессов, что позволяет не ограничиваться УФ-областью и проводить полимеризацию в более мягких условиях.

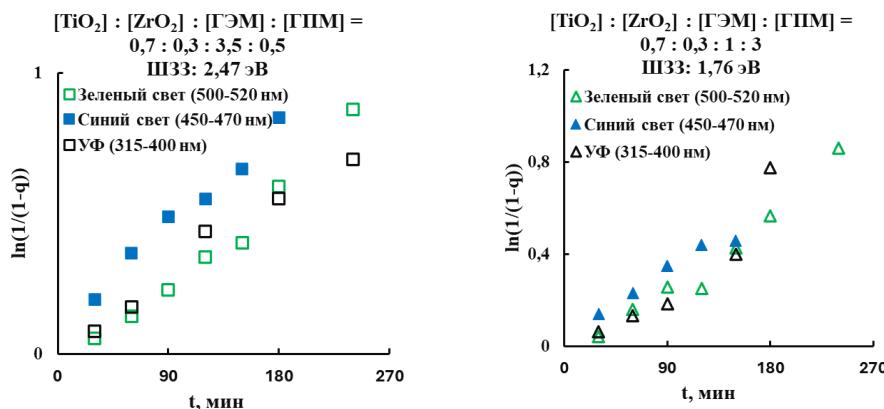


Рис. 1. Кинетические зависимости в полулогарифмических координатах процесса полимеризации MMA с использованием различных источников излучения

**Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№FSWR-2023-0025).*

## 1-Р-08

# КОНТРОЛИРУЕМАЯ РАДИКАЛЬНАЯ ГОМОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ 2-МЕТИЛ-5-ВИНИЛТЕТРАЗОЛА В ПРИСУТСТВИИ 2-((ДОДЕЦИЛТИО)КАРБОНОТИОЛТИО)-2-МЕТИЛПРОПАНОВОЙ КИСЛОТЫ

Гудкин А.В.<sup>1</sup>, Крыгина Д.М.<sup>2</sup>, Сивцов Е.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет), г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Филиал ПИЯФ НИЦ «Курчатовский институт» Институт  
высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
gudkinartur@gmail.com

Согласно литературным данным, сополимеры на основе поли-2-метил-5-винилтетразола проявляют радиопротекторные свойства и пригодны для медицинского применения [1]. Стоит отметить, что физико-механические характеристики ПМВТ остаются малоизученными.

В работе была проведена гомополимеризация 2-метил-5-винилтетразола (2МВТ) в присутствии ОПЦ-агента 2-((додецилтио)карбонотиолтио)-2-метилпропановой кислоты (ДМП) и инициатора динитрила азобisisомасляной кислоты (ДАК) в массе мономера. Реакцию проводили при 80°C в течении 24 часов. Были получены 6 образцов полимеров с молекулярной массой от 10 до 150 кДа. Исходные соотношения мономер/ОПЦ-агент, значения молекулярных масс, полидисперсности, а также конверсия мономера представлены в таблице. Наблюдается высокое соответствие теоретических и практических значений молекулярных масс, конверсия мономера составляет 70-90%, контролируемый режим полимеризации подтверждается значениями полидисперсности. Планируется дальнейшее изучение полимеров методами диффузии и седиментации.

Таблица – Характеристики образцов

[ДМП]/[2МВТ]	[ДАК]/[2МВТ]	Конверсия 2МВТ, %	M <sub>n</sub> теор	M <sub>n</sub> ГПХ	Полидисперсность
9·10 <sup>-3</sup>	6,7·10 <sup>-3</sup>	80,3	10000	12000	1,17
3,7·10 <sup>-3</sup>	1,6·10 <sup>-3</sup>	67,7	19000	21000	1,24
1,7·10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	83,2	50000	44000	1,26
1,5·10 <sup>-3</sup>	7·10 <sup>-4</sup>	86,1	75000	64000	1,16
1,2·10 <sup>-3</sup>	5,7·10 <sup>-4</sup>	84,4	10000	92000	1,27
10 <sup>-3</sup>	7·10 <sup>-4</sup>	98,8	150000	151000	1,18

### Список литературы:

[1] Кедик С.А., Сакаева И.В., Кочкина Ю.В., Еремин Д.В., Панов А.В., Суслов В.В. Химико-фармацевтический журнал. **46**(12), 30 (2012).

### Благодарности

Работа автора из ПИЯФ-ИВС выполнена в рамках государственного задания № 1023031700036-2-1.4.4

## **СИНТЕЗ МОНОДИСПЕРСНЫХ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ МИКРОСФЕР МЕТОДОМ ДИСПЕРСИОННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ**

**Есаев М.А.**<sup>1,2,3</sup>, Киселёва А.А.<sup>2,3</sup>, Шиман Д.И.<sup>1,2</sup>, Костюк С.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Институт регенеративной медицины, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский университет), Москва, 119991, Россия

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета, ул. Ленинградская, 14, 220006, Минск, Беларусь

<sup>3</sup> Белорусский государственный университет, ул. Ленинградская, 14, 220006, Минск, Беларусь

<sup>4</sup>Sorbonne Universite, CNRS, Institut Parisien de Chimie Moleculaire, Equipe Chimie des Polymeres, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France  
*esaev\_m\_a@staff.sechenov.ru*

Полистирольные микросферашироко применяются в различных областях таких, как катализ, доставка лекарств, получение композитных материалов<sup>1</sup>. Наиболее перспективным методом их получения является дисперсионная полимеризация. Одним из ключевых факторов определяющим диаметр получаемых сфер является полярность среды. Было установлено, что снижение полярности растворителя приводит к увеличению диаметра частиц. Так при переходе от метанола к изопропанолу размер частиц увеличивается от 1.45 мкм до 2.49 мкм соответственно. В случае использования высокополярных сред (метанол/этанол) необходимы высокие концентрации стабилизатора для получения монодисперсных частиц. Сочетание высокой полярности и необходимости использования высоких концентраций стабилизатора в метаноле/этаноле делает их предпочтительными для получения монодисперсных частиц диаметром около 1 мкм.

В свою очередь, для получения частиц большего диаметра предпочтительно использование изопропанола в качестве реакционной среды. Показано, что в данной среде для получения монодисперсных частиц возможно использование низких концентраций стабилизатора (4.3 г/л ПВП + 4.7 г/л цетилового спирта), а размер частиц может быть изменен путём варьирования концентрации мономера. Таким образом были получены монодисперсные полистирольные частицы диаметром от 0.9 мкм до 4.1 мкм с коэффициентом вариации менее 5%.

### **Список литературы:**

[1] Z. Akram, Kausar A., Siddiq M. Polymer-Plastics Technology and Engineering **55** (6), 582-603 (2016).

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта соглашение № 075-15-2025-015 (Сеченовский Университет)*

## 1-Р-10

# ПОЛИИМИДНЫЕ ПОРИСТЫЕ ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ПОЛИИМИДОВ И СОПОЛИ(УРЕТАН-ИМИДОВ), ПОДВЕРГНУТЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СЕЛЕКТИВНЫМ ПРОЦЕССАМ ТЕРМОЛИЗА, ХЕМОЛИЗА И ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ТРАВЛЕНИЯ

Иванова А.С., Диденко А.Л., Камалов А.М., Сапрыкина Н.Н., Юдин В.Е.,  
Светличный В.М., Кудрявцев В.В.

Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
annest.2107@yandex.ru

Получены пористые термостойкие пленки поли(оксидафенилен)пиromеллитимида, стойкие к кислым агрессивным средам и к амидным растворителям. Для этого была проведена селективная деструкция сополи(уретан-имидного) компонента смеси. Термическая деструкции включала в себя отжиг пленок при температуре 290 °C в вакууме при остаточном давлении 0.01 Па, за ней следовали этапы травления пленок в кислотных (смесь кислот: 90 об.% соляной и 10 об.% уксусной) и в щелочных ваннах (0.04 Н раствор KOH). Комбинация кислотного и щелочного гидролиза обеспечивала удаление уретановых блоков из полимерной смеси. Дополнительно было проведено ионно-плазменное травление поверхности полученных плёнок в разряде постоянного тока с использованием установки Polaron SEM E5100, UK (Рис.1а). Полученные мембранные имеют перспективу для использования в качестве фильтрационных материалов (Рис.1б, в) для фильтрации агрессивных сред в химических технологиях.

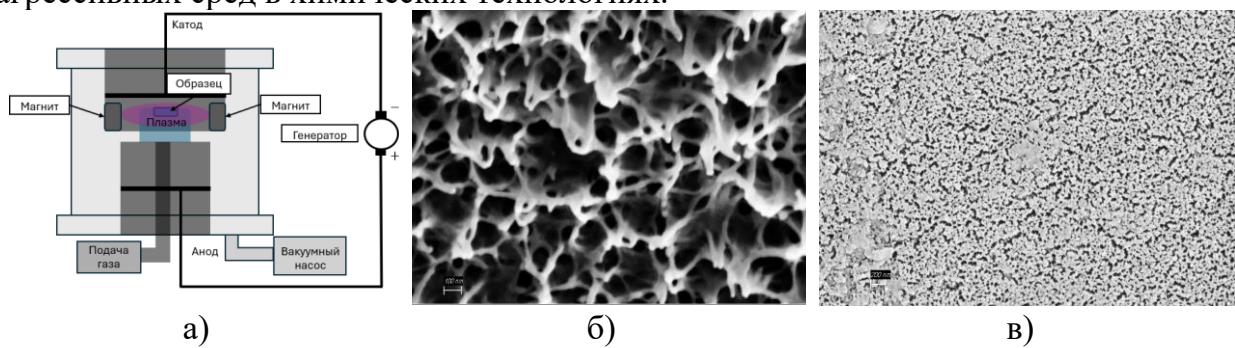


Рис. 1 – Плазменная установка (а), СЭМ-микрофотографии скола (б) и поверхности (в) полимерных пленок.

## Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания: «Полимерные и композиционные материалы для перспективных технологий» рег. № 1023031700040-5-1.4.4.

## 1-Р-11

# БИОСОВМЕТИМЫЕ СОПОЛИ(УРЕТАН-ИМИДЫ) НА ОСНОВЕ КАСТОРОВОГО МАСЛА

Иванова А.С., Крафт В.Е., Нащекина Ю.А., Диценко А.Л., Ваганов Г.В.,  
Попова Е.Н., Светличный В.М., Юдин В.Е., Кудрявцев В.В.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
annest.2107@yandex.ru*

Методом совместной поэтапной поликонденсации касторового масла (выступающего в качестве высокомолекулярного полиола), терминированного толуилен-2,4-диизоцианатом поли(пропиленгликоля), диангидрида 1,3-бис(3',4'-дикарбоксифенокси)бензола и бис(4-аминофенокси)дифенилсульфона в среде амидного растворителя получены сшитые сополи(уретан-амидокислотные) пленки [1]. Пленки отмывали от амидного растворителя, выдерживая в гексане. Имидизацию пленок проводили при температуре 220 °C. Определены термические и механические характеристики пленочных образцов. Показано, что исследованные сополимеры проявляют свойства эластомеров повышенной прочности, деформация до разрыва составляет 850-1200%, прочность на разрыв – от 4 до 14 МПа. С помощью МТТ-теста продемонстрирована биосовместимость полученных сополимеров при взаимодействии с дермальными фибробластами человека (DF1, Институт цитологии, г. Санкт-Петербург). Клетки культивировали в CO<sub>2</sub>-инкубаторе при 37 °C в увлажненной атмосфере, содержащей воздух и 5% CO<sub>2</sub> в питательной среде DMEM/F12 (Dulbecco's modified Eagle's medium; Gibco). Сополи(уретан-имида) на основе касторового масла представляют потенциальный интерес в качестве материалов для ранозаживляющих технологий в медицинской практике.

### **Список литературы:**

[1] Hosseiniabadi R., Parsapour A., Khorasani S., Razavi S., Hashemibeni B. Polymer Bulletin 77, 2945–2964 (2020).

### **Благодарности**

Работа выполнена в рамках государственного задания: «Полимерные и композиционные материалы для перспективных технологий» рег. № 1023031700040-5-1.4.4.

## 1-Р-12

# СИНТЕЗ ЛИНЕЙНЫХ (СО)ПОЛИМЕРОВ ПОЛИ(Н-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА) В ВОДНЫХ СРЕДАХ МЕТОДОМ ОПЦ-ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Иванова Е.А.<sup>1</sup>, Беканова М.З.<sup>1</sup>, Власов Е.И.<sup>1</sup>, Сименидо Г.А.<sup>1</sup>, Кожунова Е.Ю.<sup>1</sup>,  
Плуталова А.В.<sup>1</sup>, Черникова Е.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*  
*livanova.ryb@gmail.com*

Поли(Н-изопропилакриламид) является известным представителем среди термочувствительных полимеров. Его нижняя критическая температура растворения (НКТР) лежит в области 32°C, что относительно близко к физиологической температуре и делает интересным их изучение в биомедицине и системах доставки лекарств. Регулировать НКТР можно путем сополимеризации с гидрофильными или гидрофобными мономерами, таким образом расширяя область применения ПНИПАМ.

ПНИПАМ получают различными способами, однако для применения его в биомедицинских целях предпочтительнее проводить синтез в водных средах. Классическая радикальная полимеризация НИПАМ в водных средах ниже НКТР приводит к образованию полимера с широким ММР, при ее проведении выше НКТР образуются сшитые микро- и макрогели ввиду побочной реакции передачи цепи на полимер. В настоящей работе был предложен и доказан метод контролируемого синтеза сополимеров НИПАМ в водных средах выше НКТР в условиях полимеризации с обратной передачей цепи (ОПЦ) и исследованы термочувствительные свойства полученных полимеров методом динамического светорассеяния.

Впервые было выведено оптимальное соотношение мономер-вода, при котором получаются линейные полимеры с узким ММР и заданной молекулярной массой. Так, используя гидрофильный несимметричный тритиокарбонат, синтезировали набор ПНИПАМ с  $M_n = 11200-27100$  и  $\bar{M} < 1.3$ . Получили блок-сополимеры на основе ПНИПАМ с использованием полимерного ОПЦ-агента на основе ПЭГ с  $M_n = 2000$  и  $5000$ . В этом случае ОПЦ-полимеризация происходит по механизму polymerization-induced self-assembly (PISA) и сопровождается образованием блок-сополимерных частиц, которые в ходе синтеза собираются в частицы со структурой ядро-оболочка. Также был получен термочувствительный микрогель на основе ПНИПАМ размером 230 нм, что до этого было невозможно в ходе классической радикальной полимеризации. Экспериментально было показано, что в блок-сополимере НКТР растет с ростом длины блока ПЭГ и зависит от соотношения длин блоков ПЭГ и ПНИПАМ.

### Список литературы:

[1] Serkhacheva N., Prokopov N., Lysenko E., Kozhunova E., Chernikova E. Polymers **16**, 1408 (2024).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 24-45-10012).

**ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ СОПОЛИФЛУОРЕНОВ,  
АКТИВИРОВАННЫХ КЛАСТЕРАМИ БОРА, НАНОЧАСТИЦАМИ  
ЗОЛОТА**

Ильина К.И.<sup>1</sup>, Жукова Е.В.<sup>1</sup>, Чулкова Т.Г.<sup>1</sup>, Якиманский А.А.<sup>1</sup>, Кашина А.В.<sup>1</sup>,  
Колесников И.Е.<sup>1</sup>, Мартыненков А.А.<sup>1</sup>, Жданов А.П.<sup>2</sup>, Якиманский А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константина» –  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –

Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей и  
неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской Академии Наук, г. Москва  
*xenia.il'ina@mail.ru*

В настоящее время  $\pi$ -сопряженные сополифлуорены (СПФ) представляют большой интерес для создания на их основе новых функциональных материалов с заданными свойствами. Модификация полимерной цепи позволяет варьировать в широких пределах свойства материалов, например интенсивность и цветность люминесценции, подвижности носителей зарядов и др.

В данной работе нами синтезирована серия производных сополифлуоренов сnanoчастицами золота, проявляющими люминесцентные свойства. Сополифлуорены на основе 9,9-диоктилфлуорена с различным мольным содержанием дициано-производных фенантрена были получены методом сополимеризации по Судзуки в микроволновом реакторе.

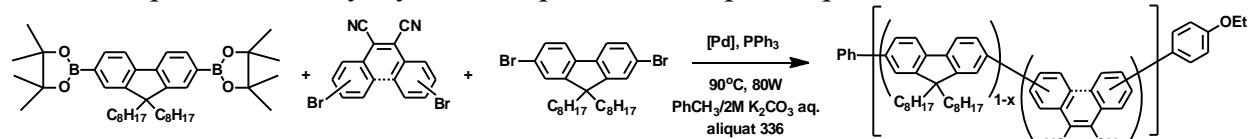


Рис. 1 – Схема синтеза сополифлуоренов с дициано-производными фенантрена. Для последующей модификации на первом этапе основную цепь СПФ активировали клоzo-декаборатными кластерами путем присоединения по нитрильной группе. На втором этапе в полученные соединения вводили nanoчастицы золота.

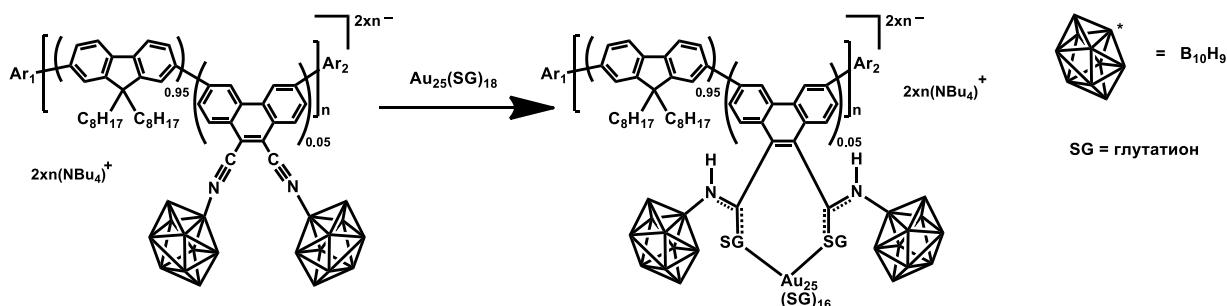


Рис. 2 – Схема реакции присоединения nanoчастиц золота  $\text{Au}_{25}(\text{SG})_{18}$  к N-нуклеофилам активированной нитрильной группы СПФ.

Синтезированные образцы исследовали методом ИК-, КР- и УФ-спектроскопии и флуориметрии.

**СОПОЛИФЛУОРЕНЫ С ЦЕФАЛОСПОРИНОВЫМИ  
ФРАГМЕНТАМИ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ  
ХЕМОСЕНСОРОВ НА ТУБЕРКУЛЕЗ**

Каскевич К.И., Жукова Е.В., Якиманский А.А., Кашина А.В., Чулкова Т.Г.,  
Якиманский А.В.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константина  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
kaskevich-ksenia@yandex.ru*

Сополифлуорены (СПФ) представляют собой класс полимеров, хорошо зарекомендовавших себя как материалы для светоизлучающих слоев органических светоизлучающих диодов. Помимо люминесцентных свойств, СПФ обладают хорошей термостабильностью, а также способностью к образованию пленок. Для настройки люминесцентных свойств, таких как цветность и интенсивность люминесценции, на стадии поликонденсации в основную цепь можно вводить различные  $\pi$ -сопряженные ароматические системы. Кроме этого, введение в СПФ групп, которые способны реагировать на внешние воздействия, позволяет получать хемосенсорные устройства на их основе.

Ранее были получены серии СПФ с различным содержанием дицианпроизводных стильтбена и фенантрена и показано, что введение этих соединений приводит к изменениям люминесцентных свойств [1]. В настоящей работе в состав СПФ, содержащих 2,5 мольн.% дицианпроизводных стильтбена и фенантрена, были введены фрагменты 7-аминоцефалоспориновой кислоты (7-АЦК),  $\beta$ -лактамное кольцо которой разрушается под действием бактериального фермента  $\beta$ -лактамазы. Это может позволить получить хемосенсорное устройство для определения наличия такого социально значимого заболевания, как туберкулез. Для этого было реализовано два подхода: 1) введение цефалоспоринового фрагмента в качестве концевой группы; 2) введение в основную цепь 3,6-дибромкарбазола, содержащего 7-АЦК в боковой цепи. Изучены люминесцентные свойства исходных СПФ с 7-АЦК и полимеров, получающихся в ходе взаимодействия с  $\beta$ -лактамазой.

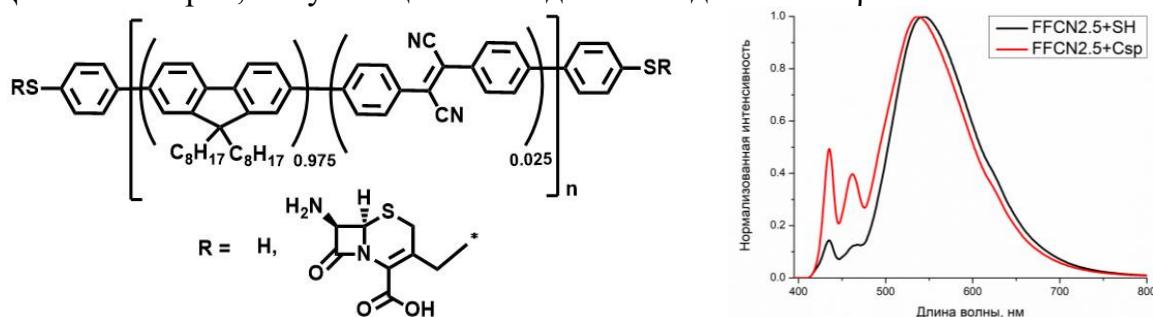


Рис. 1 – Структуры и спектры люминесценции полимеров FFCN2.5+SH и FFCN2.5+Csp.

[1] Yakimanskiy A., Kaskevich K., Zhukova E., et al. Materials **16**, 5592–5607 (2023).

**Благодарности**

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 23-43-00060).

## 1-Р-15

# ЗВЕЗДООБРАЗНЫЕ ПОЛИ-2-АЛКИЛ-5,6-ДИГИДРО-4Н-ОКСАЗИНЫ С АЗАЦИКЛОФАНОВЫМ ЯДРОМ

Козина Н.Д.<sup>1</sup>, Кирилэ Т. Ю.<sup>1</sup>, Филиппов А.П.<sup>1</sup>, Теньковцев А. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Филиал НИЦ "Курчатовский институт" - ПИЯФ – ИВС, Санкт-Петербург,  
Россия  
*ndkozina@gmail.com*

Работа посвящена синтезу шестилучевых термочувствительных поли-5,6-дигидро-4Н-оксазинов с гексааза[26]ортопарациклофановым ядром. Гексааза[26]ортопарациклофан или «треугольный амин» обладает выраженной тенденцией к образованию комплексов с ароматическими соединениями, кроме того, наличие циклического полиаминового ядра должно способствовать формированию комплексов с ионами переходных металлов. При этом наличие гидрофильных лучей в полимере с азоциклофановым ядром обеспечивает водорастворимость комплекса, что дает возможность разрабатывать на основе таких полимеров системы доставки биологически активных соединений.

С целью реализации данной идеи исходный азациклофан был синтезирован по известной методике [3+3]циклоконденсацией терефталевого альдегида и транс-1,2-диаминоциклогексана с последующим восстановлением полученного основания Шиффа боргидридом натрия. Азоциклофраны хорошо показали себя в качестве обрывателей растущих цепей в катионной полимеризации 2-оксазинов за счёт быстрого и количественного присоединения в 6-ой позиции оксазинового гетероцикла [1]. Это дает возможность использовать полученный гексааза[26]ортопарациклофан для синтеза звездообразных шестилучевых полимеров подходом «прививка на».

Структура синтезированных звездообразных полимеров подтверждалась методами УФ-спектроскопии и <sup>1</sup>Н ЯМР спектроскопии, молекулярно-массовые характеристики определены комбинацией методом ГПХ и статического светорассеяния.

Также были изучены процессы комплексообразования полученных термочувствительных полимеров с ионами Eu, определены состав и константы устойчивости комплекса.

### **Список литературы:**

[1] Kurlykin M., Kozina N., Kirila T., Filippov A., Tenkovtsev A. Star-shaped thermosensitive poly-N-acyl-1,3-propylenimines with trianglamine core. Mendeleev Communications **34**, 743–744 (2024).

### **Благодарности**

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

## 1-Р-16

# АЛЬТЕРНАТНЫЕ ГРАФТ-СОПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИКАПРОЛАКТОНА И ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ

Ланкина Ю.И.<sup>1,2</sup>, Ксендзов Е.А.<sup>2</sup>, Костюк С.В.<sup>3</sup>, Кирилэ Т.Ю.<sup>4</sup>, Филиппов А.П.<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>*Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета, Минск,*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь*

<sup>3</sup>*Университет Сорбонна, Парижский институт молекулярной химии, Париж,  
Франция*

<sup>4</sup>*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург*

<sup>5</sup>*Санкт-Петербургский Политехнический университет им. Петра Великого, г.  
Санкт-Петербург  
julialnk6789@mail.ru*

Графт-сополимеры полиэтиленгликоля и поликапролактона могут проявлять термочувствительные свойства в водных растворах [1]. Интерес к ним вызван возможным биомедицинским применением, в частности для доставки лекарств и генов, клеточной инженерии и многое другое [2].

Были получены макромономеры на основе поли( $\epsilon$ -капролактона) с малеимидной концевой группой и полиэтиленгликоля с концевой стирольной группой. RAFT-сополимеризацией таких макромономеров был синтезирован альтернатный графт-сополимер с нижней критической температурой растворения (НКТР) ниже 0 °C. Поэтому была проведена RAFT-сополимеризация 2-гидроксиэтилмалеимида со стирольным макромономером. Полученный графт-сополимер показал значение НКТР 41,4 °C. То есть графт-сополимеры, полученные таким образом являются термочувствительными, и варьируя длины цепей поли( $\epsilon$ -капролактона) и полиэтиленгликоля можно синтезировать полимеры с широким диапазоном значений НКТР.

### Список литературы:

- [1] Vancoillie G., Frank D., Hoogenboom R. Thermoresponsive poly (oligo ethylene glycol acrylates) //Progress in Polymer Science. – 2014. – Т. 39. – №. 6. – С. 1074-1095.
- [2] Singh A., Dowdall N., Hoare T. Poly (Oligo (Ethylene Glycol) Methacrylate)-Based Polymers in Biomedical Applications: Preparation and Applications //Biomacromolecules. – 2025.

## **ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА N-АЦИЛИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ХИТОЗАНА**

Ли Баогу<sup>1</sup>, Малык Б.В.<sup>2,3</sup>, Кузнецов В.В.<sup>3</sup>, Хавпачев М.А.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>*Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,  
г. Москва*

<sup>2</sup>*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
г. Москва*

<sup>3</sup>*Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко,  
г. Донецк  
libaoguo@yandex.ru*

В последние годы существенно возрос интерес к изучению антимикробной активности хитозана в отношении различных групп микроорганизмов. Многочисленные исследования подтвердили способность полисахарида подавлять рост разнообразных бактериальных и грибковых культур [1, 2]. При этом проведение направленной химической модификации рассматривается как эффективный подход к усилению биологической активности хитозана. Наличие в молекулярной структуре реакционноспособных гидроксильных и аминогрупп открывает широкие возможности для получения производных с заданными физико-химическими и биологическими характеристиками [3].

Цель данной работы заключалась в получении гидрофобизированных производных хитозана механохимическим способом путем ацилирования полисахарида сорбиновой и салициловой кислотами в двухшнековом экструдере при комбинированном воздействии на твердые смеси давления и сдвиговых напряжений.

В работе синтезированы N-ацилированные производные хитозана со степенью замещения от 0.03 до 0.33 (по данным элементного анализа). Методом инфракрасной спектроскопии установлено, что твердофазные реакции протекают по смешанному механизму и сопровождаются присоединением кислот или их остатков к аминогруппам полимера ионными и ковалентными (амидными) связями. Показано увеличение термической стабильности для образцов с высокой степенью замещения относительно исходного хитозана. Обнаружено, что в разбавленных растворах синтезированных производных возникают межмолекулярные взаимодействия липофильного характера, приводящие к образованию агрегатов существенного большего размера по сравнению с хитозаном.

### **Список литературы:**

- [1] Kim J.-S., Kim Y. Nutrition Research and Practice **1**, 273 (2007).
- [2] Badawy M.E.I., Rabea E.I. International Journal of Biological Macromolecules **57**, 185 (2013).
- [3] Diab M.A., El-Sonbati A.Z., Al-Halawany M.M., Bader D.M.D. Open Journal of Polymer Chemistry **2** (1), 14 (2012).

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FRES-2024-0001).*

## 1-Р-18

# СИНТЕЗ 3,6-БИС(БРОММЕТИЛ)-1,4-ДИОКСАН-2,5-ДИОНА И ЕГО СОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ С D,L-ЛАКТИДОМ

Матвиенко В.Д.<sup>1</sup>, Никифоров А.А.<sup>1</sup>, Коржикова-Влах Е.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
vdmatvienko@gmail.com*

Поли(лактид) (ПЛА) – биосовместимый и биодеградируемый алифатический сложный полиэфир, находящий широкое применение в различных биомедицинских изделиях. Однако, ПЛА обладает рядом существенных недостатков, одним из которых является его гидрофобная природа, которая обуславливает биологическую инертность материалов на основе ПЛА. Традиционным подходом к устранению данного недостатка является введение в состав полимера различных наполнителей. Данный подход позволяет улучшить механические и биологические свойства материала, однако применение такого подхода ограничено в случае использования некоторых биологически активных, но гидрофильных наполнителей из-за трудностей равномерного распределения последних в гидрофобной матрице ПЛА. Другой важной проблемой является ограниченная возможность химической модификации ПЛА, которая обусловлена отсутствием реакционноспособных функциональных групп в полимерной цепи.

Для расширения функциональных свойств ПЛА актуальным направлением является введение функциональных групп на стадии синтеза мономера. На данный момент разработаны методики получения циклических эфиров, содержащих ненасыщенные фрагменты, а также защищенные гидроксильные, амино- и карбоксильные функциональные группы [1]. В связи с этим особый интерес представляет введение галогенсодержащих заместителей в состав мономера. Данные заместители не способны инициировать полимеризацию и не требуют использования защитных групп, что упрощает синтез мономера. Более того, галогены открывают возможности для последующего замещения на широкий спектр функциональных групп через реакции нуклеофильного замещения. Это позволяет гибко регулировать свойства получаемых полимеров, включая гидрофильность, заряд и способность к связыванию биологически активных молекул. На первом этапе данного исследования был синтезирован функциональный мономер, а именно, 3,6-бис(бромметил)-1,4-диоксан-2,5-дион ( $\text{Br}_2\text{LA}$ ).  $\text{Br}_2\text{LA}$  был получен димеризацией броммолочной кислоты и охарактеризован методами ИК- и ЯМР-спектроскопии. На втором этапе работы методом полимеризации с раскрытием цикла был синтезирован сополимер D,L-лактида с  $\text{Br}_2\text{LA}$ . Сополимеризацию проводили в расплаве при 135 °C в атмосфере аргона. Полученный сополимер был охарактеризован методами ИК-, ЯМР-спектроскопии и гель-проникающей хроматографии.

## Литература

- [1] Y. Yu, J.Zou, C. Cheng Polymer Chemistry 5 (20), 5854-5872 (2014).

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СУЛЬФИРОВАННЫХ  
ПОЛИКАРБОКСИЛАТНЫХ ЭФИРОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ  
В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

Осетров К.О.<sup>1</sup>, Ульянова Н.Ю.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*ЗАО "Научно-производственный центр материалов и добавок",  
Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Филиал НИЦ "Курчатовский институт"-ПИЯФ-ИХС, Санкт-Петербург  
ko.osetrov@np-cmid.ru*

В строительной сфере для проведения работ по бетонированию или при производстве железо-бетонных изделий находят широкое применение поликарбоксилатные суперпластификаторы. Они позволяют достигать требуемых технологических характеристик бетонной смеси или эксплуатационных свойств бетона. Однако, несмотря на их повсеместное распространение, в отрасли наблюдается запрос на синтез новых пластификаторов [1]. Пластификаторов способных решить специальные задачи. Так актуальной проблемой является повышение сульфатостойкости бетона, которая в настоящий момент решается использованием дорогостоящего сульфатостойкого цемента [2]. В связи с этим оптимальной видится возможность использования поликарбоксилатов с сульфосодержащими мономерами. Такие пластификаторы в перспективе позволят снизить затраты производства при низкой дозировке добавки. Получение сульфосодержащих поликарбоксилатов проводили в 2 стадии. В качестве исходных мономеров использовали модифицированный полиэтиленгликоль и акриловую кислоту. На первой стадии при перемешивании и нагревании до 110 °C сульфировали монометаллический эфир полиэтиленгликоля сульфаминовой кислотой, используя в качестве катализатора серную кислоту. Затем, на второй стадии методом радикальной полимеризации водного раствора сульфирированного эфира полиэтиленгликоля с акриловой кислотой получали поликарбоксилат, содержащий сульфогруппы в боковых цепях. Были изучены влияние pH среды, соотношение карбоксильных и сульфогрупп на свойства поликарбоксилатов. Была исследована пластифицирующая способность синтезированного сополимера в качестве добавки к бетонной смеси, а также оценено его влияние на прочностные характеристики бетона. Для определения прочности бетонов на сжатие согласно ГОСТ 10180-2012 изготавливались образцы-кубы 100x100x100 мм из бетонной смеси, содержащей 0,2 масс.% поликарбоксилата. Получены пластификаторы на основе сульфирированного металлического эфира полиэтиленгликоля, рассмотрены их физико-химические свойства. Определено влияние поликарбоксилатного эфира на эксплуатационные и технологические характеристики модельной бетонной смеси.

**Список литературы:**

- [1] Wang C., Kong F., Pan L. Journal of Building Engineering. 2021.
- [2] Wang X., Yang Y., Lin W., Shu X. Advances in Cement Research. 2016.

## 1-P-20

# ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СЕГМЕНТНЫХ СОПОЛИУРЕТАНМОЧЕВИН И ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА

Руденок К.С.<sup>1,2</sup>, Рахманов А.А.<sup>1</sup>, Поляков И.В.<sup>2</sup>, Камалов А.М.<sup>2</sup>, Бугров А.Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Филиал НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ-ИВС, г. Санкт-Петербург  
k.honey@mail.ru

При создании новых многокомпонентных функциональных материалов особое значение имеют композиты, состоящие из сегментных сополиуретанмочевин (СПУМ) и многослойного восстановленного оксида графена (ВОГ). Потенциал их применения в различных отраслях промышленности – прежде всего в электронике, строительстве, энергетике – обусловлен их высокой эластичностью, а также способностью проводить тепло и электрический ток благодаря внедрению частиц ВОГ в матрицу СПУМ в качестве наполнителя.

В данной работе для формирования полимерной матрицы композита использовались различные комбинации полиэфирдиолов (ПЭД) с молекулярной массой 2000 Да, 4,4'-метилендифенилдиизоцианата (МДИ), а также диаминов различного химического строения (бензидин (БЗ), 4,4'-диаминодифениловый эфир (ДАДФЭ) и 4,4'-бис-(4''-аминофенокси)дифенилсульфона (СОД)). Проводящий наполнитель был синтезирован из графита различных марок (ГЛ-1, ГСМ-1, ГЭ-4, ЕГ-350) посредством его окисления по модифицированному методу Хаммерса с последующим термовосстановлением. Для придания полученным СПУМ электропроводящих свойств в полимерную матрицу в процессе поликонденсации *in-situ* вводили частицы ВОГ. Затем из подготовленной суспензии на стеклянных подложках были сформированы полимерные пленки методом полива, после чего из них удаляли растворитель в течение суток при температуре 80°C. В ходе исследования были проанализированы структура, электрические и механические свойства полученных полимерных композитных пленок с использованием комплекса методов физико-химического анализа.

На примере состава (МДИ-2000ПЭД-МДИ)БЗ было показано, что при введении 1.5 масс.% многослойного ВОГ синтезированного из графита разных марок, в матрицу полиуретанмочевины происходит ее пластификация, сопровождающаяся снижением модуля упругости, увеличением относительного удлинения при разрыве и повышением предела прочности. Согласно значениям объемной электрической проводимости измеренной четырехзондовым методом в конфигурации электрод/композит/электрод было установлено, что при одинаковом содержании многослойного ВОГ в матрице эластомера наиболее эффективен с точки зрения формирования каналов проводимости наполнитель, полученный из графита ЕГ-350 (126 См/м). Для двух ВОГ из других марок графита ГЛ-1 и ГСМ-1 были получены композиты с более низкой электропроводностью 90 и 72 См/м, соответственно.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КУМИЛДИТИОБЕНЗОАТА В РЕТ-RAFT  
ПОЛИМЕРИЗАЦИИ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА**

Степанов К.Н., Власова А.О., Зайцев С.Д.

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

PET-RAFT полимеризация одно из перспективных направлений контролируемой радикальной полимеризации. В рамках данного метода используются серосодержащие соединения, которые способны к обратимому акту присоединения/фрагментации.

В данной работе рассмотрено использование кумилдитиобензоата в качестве агента переноса цепи для фотоиндуцированной полимеризации метилметакрилата. Методом УФ-спектрометрии был проанализирован фотолиз кумилдитиобензоата в УФ-области и областях синего и зеленого света. По данным результатам было выявлено разрушение агента в УФ-области еще во время индукционного периода. При фотоиндуцированной полимеризации в ряде случаев используются фотокатализаторы, которые способствуют более эффективному возбуждению агентов переноса цепи. В данном исследовании было рассмотрено влияние диоксида титана и полимерных композиций на его основе при полимеризации в области синего света. По результатам экспериментов видно незначительное увеличение молекулярной массы и конверсии в присутствии фотокатализаторов, что говорит о малом вкладе диоксида титана в возбуждение кумилдитиобензоата. Также было установлено, что при добавлении триэтиламина в реакционную смесь увеличивается скорость полимеризации и возрастает молекулярная масса полимеров при сохранении контроля над полимеризацией.

Полученные полимеры были проанализированы методом гель-проникающей хроматографии. Кривые молекулярно-массового распределения унимодальны и имеют низкие значение дисперсности ( $\bar{D} < 1,5$ ).

**Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.*

## **ФОТОИНИЦИИРУЕМАЯ В ДИАПАЗОНЕ ВИДИМОГО СВЕТА КАТИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ $\beta$ -ПИНЕНА**

**Трофимук Д.В.<sup>1,2</sup>, Гульник М.И.<sup>1</sup>, Костюк С.В.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета, г. Минск, Беларусь*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь*

<sup>3</sup> *Sorbonne Universite, Institut Parisien de Chimie Moleculaire, Equipe Chimie des Polymeres, Paris, France*  
*dianatrofimuk2002@gmail.com*

На протяжении последнего десятилетия большой интерес ученых вызывает использование возобновляемых биоресурсов с целью замещения нефтехимического сырья [1].  $\beta$ -Пинен – монотерпен, один из основных компонентов скипидара, который может быть использован в качестве мономера в реакциях полимеризации для создания новых «зеленых» полимерных материалов [2].

Данная работа посвящена фотоинициируемой в диапазоне видимого света катионной полимеризации  $\beta$ -пинена в присутствии инициирующей системы на основе карбонила марганца ( $Mn_2(CO)_{10}$ ) и соли дифенилиодония ( $Ph_2I^+X^-$ ). В присутствии активируемой синим светом (435 нм) фотокаталитической пары  $Mn_2(CO)_{10}/Ph_2I^+PF_6^-$  синтезирован поли( $\beta$ -пинен) с относительно высокими значениями среднечисловой молекулярной массы ( $M_n = 7000\text{--}8000$  г/моль,  $D < 1,8$ ) и температуры стеклования ( $T_g \sim 88$  °C). Исследовано влияние температуры реакции, полярности растворителя и природы противоиона в составе соли на молекулярно-массовые и термические характеристики синтезируемого полимера.

Методом  $^1H$  ЯМР спектроскопии показано, что цепь поли( $\beta$ -пинена) состоит из 1,3- и 1,4-циклогексеновых звеньев, соотношение которых зависит от различных параметров реакций. Кроме того, установлена структура концевых групп, среди которых преобладают циклогексадиеновые фрагменты (>85 мол.%), содержащие как сопряженные, так и изолированные диеновые связи. Предложен механизм полимеризации, включающий изомеризацию карбокатиона путём гидридного сдвига с последующей возможностью обрыва кинетической цепи через реакцию  $b$ -Н элиминирования.

### **Список литературы:**

- [1] Wang, Z.; Ganewatta, M. S.; Tang, C. Prog. Polym. Sci., **2020**, 101, 101197.  
[2] Della Monica, F.; Kleij, A.W. Polym. Chem. 2020, 11, 5109–5127.

### **Благодарности**

*Работа выполнена в рамках государственной программы научных исследований «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия», подпрограмма «Химические технологии, процессы и реагенты» (проект 2.1.01.03).*

## СИНТЕЗ ЭЛАСТОМЕРОВ НА ОСНОВЕ ТРИАЗОЛСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИДИМИТИЛСИЛОКСАНОВ

Ульянкин Р.В.<sup>1,2</sup>, Беликова И.И.<sup>1,2</sup>, Аристова В.А.<sup>1,2</sup>, Безлепкина К.А.<sup>1,3</sup>,  
Крылов Ф.Д.<sup>1</sup>, Мигулин Д.А.<sup>1</sup>, Костров В.А.<sup>4</sup>, Ханин Д.А.<sup>4</sup>, Миленин С.А.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Институт Синтетических Полимерных Материалов им. Н.С. Ениколопова  
Российской академии наук, г. Москва

<sup>2</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный  
исследовательский университет)», г. Долгопрудный

<sup>3</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Тульский государственный педагогический университет  
им. Л.Н. Толстого», г. Тула

<sup>4</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмиянова  
Российской академии наук, Российская Федерация, г. Москва  
*r.uliyankin@ispmt.ru*

Полидиметилсилоксаны и силиконовые эластомеры на их основе сочетают в себе ценные свойства – высокую стабильность, биоинертность, низкую токсичность, гидрофобность и эластичность. Кроме того, введение различных добавок и наполнителей в структуру полимерной сетки позволяет регулировать свойства материала в зависимости от задачи. Стандартные методы получения силиконовых эластомеров сопряжены с использованием дорогих и часто токсичных катализаторов на основе переходных металлов, например платины и олова.

В нашей работе исследована зависимость характеристик эластомеров, получаемых по реакции азид-алкинового циклоприсоединения в присутствии разработанного катализатора на основе одновалентной меди, координированной сверхразветвлённой аминотриазолсилоксановой полимерной матрицей, от длины цепи исходных полидиметилсилоксанов с азидными и ацетиленовыми фрагментами. Оценена твердость материалов по Шору, а для оптимального состава с наполнителем AEROSIL A300 изучены физико-химические свойства.

### Список литературы:

[1] И.И. Беликова, В.А. Аристова, Р.В. Ульянкин, К.А. Безлепкина, Ф.Д. Крылов, Д.А. Мигулин, С.А. Костров, Д.А. Ханин, С.А. Миленин, Высокомолекулярные соединения [на стадии опубликования]

### Благодарности

Синтез полидиметилсилоксанов выполнен при поддержке Правительства Тульской области (постановление от 30.12.2021 №899) в рамках Соглашения № 11 от 07 сентября 2022 года.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И ТРЕТ-БУТИЛАКРИЛАТА В ПРИСУТСТВИИ РН- ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ АГЕНТОВ ОБРАТИМОЙ ПЕРЕДАЧИ ЦЕПИ

Хабарова К.В., Власова А.О., Власов А. М., Зайцев С.Д.

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия  
ksenia.khabarova@mail.ru*

Неконтролируемый характер традиционных методов радикальной полимеризации приводит к получению полимеров с широким молекулярно-массовым распределением, тем самым ограничивая использование полимеров в различных областях. Контролируемые методы радикальной полимеризации, в частности, RAFT-полимеризации, позволяют получать полимеры с заданными свойствами. Применение рН-чувствительных агентов в RAFT-полимеризации обеспечивает селективность процесса: в кислой среде эффективен RAFT- агент в полимеризации активных мономеров, в то время как в щелочной среде – неактивных.

В данной работе исследовалась полимеризация акриловой кислоты (АК) и трет-бутилакрилата (ТБА) в присутствии 1-циано-1-метилэтил(фенил)(пиридин-4-ил)карбамодитионата (ЦМПК) и 1-циано-1-метилэтил(4-метоксифенил)(пиридин-4-ил)-дитиокарбамат (ЦМПКМ) в качестве RAFT-агента. Полимеризация АК проводилась в диоксане при объемном соотношении диоксан/АК=1:1. Полимеризация ТБА проводилась в бензоле при объемном соотношении ТБА/бензол = 4:1. Концентрация инициатора ДАК составляла 0.001 моль/л. Полимеризация осуществлялась при температуре 70°C (для АК) и 80°C (для ТБА) в течение заданных временных интервалов. Исследовано влияние концентрации ЦМПК и ЦМПКМ, а также форма RAFT - агентов (протонированная и нейтральная) на кинетические особенности полимеризации АК и ТБА. Анализ влияния концентрации ЦМПК на молекулярную массу полимеров (рис.1) показал, что увеличение концентрации ЦМПК приводит к уменьшению среднечисловой молекулярной массы ( $M_n$ ) и дисперсности ( $D$ ) при фиксированной конверсии мономера. Это свидетельствует о том, что ЦМПК участвует в реакциях обрыва цепи или передачи цепи, тем самым ограничивая рост полимерных цепей и контролируя процесс.

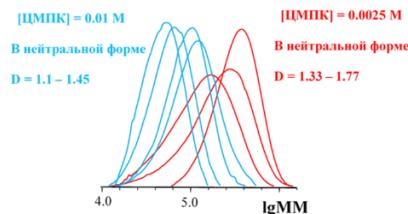


Рис.1 - Кривые молекулярно-массового распределения полимеров, полученных при полимеризации трет-бутилакрилата в присутствии ЦМПК в нейтральной форме

## Благодарности

При поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

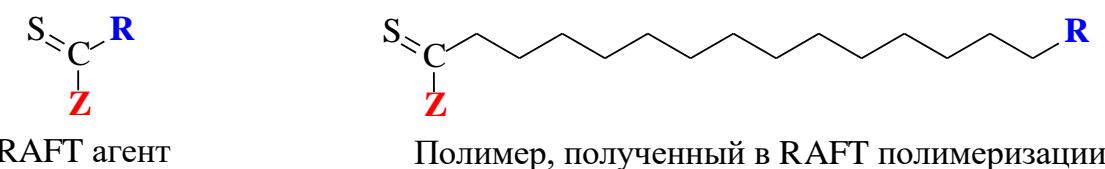
1-P-25

# ДИЗАЙН НОВЫХ АГЕНТОВ ОБРАТИМОЙ ПЕРЕДАЧИ ЦЕПИ ДЛЯ RAFT ПОЛИМЕРИЗАЦИИ КАК СПОСОБ КОНЦЕВОЙ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРОВ

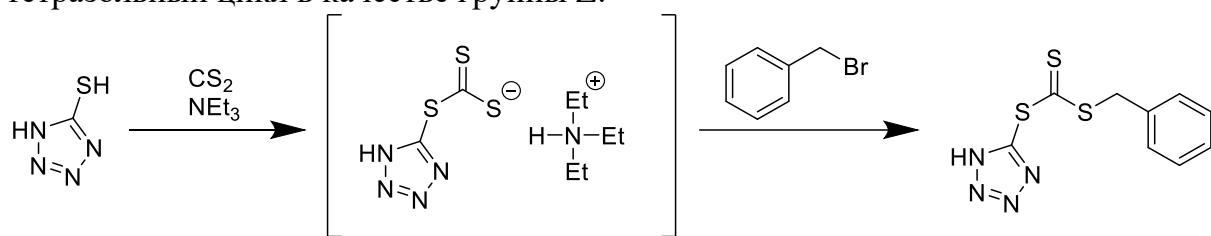
Хиль А.М., Яковлев В.В., Сивцов Е.В.

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет), г. Санкт-Петербург  
hilandrei@yandex.ru*

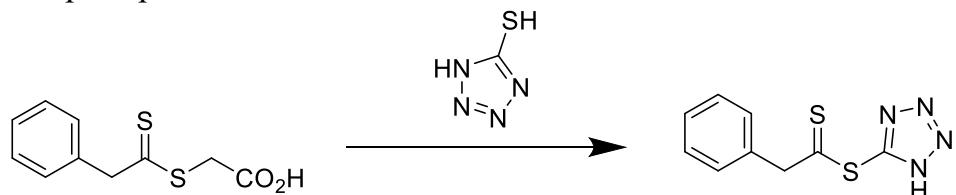
Контролируемая радикальная полимеризация с обратимой дезактивацией цепи по механизму присоединения-фрагментации – RAFT (**r**eversible **a**ddition-**f**ragmentation **c**hain **t**ransfer) полимеризация отличается тем, что большинство цепей полученных в таких условиях полимеров имеют вполне определенную концевую функционализацию – с одной стороны стабилизирующую группу Z, а с другой – уходящую группу R агента обратимой передачи цепи (RAFT агента):



Это создает условия для целенаправленной функционализации синтезируемых полимеров. В настоящей работе предлагается несколько способов синтеза RAFT агентов, содержащих тетразольный цикл, представляющий большой интерес ввиду своей физиологической активности, высокой липофильности и комплексообразующей способности. Один из этих способов позволяет ввести тетразольный цикл в качестве группы Z:



Другая схема, также базирующаяся на тиоле в качестве источника тетразола, представляет собой «тиоловый обмен» и позволяет получить тетразол в уходящей группе R, например:



В докладе будут представлены и другие стратегии получения тетразолсодержащих RAFT агентов.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОДЕГРАДАЦИИ ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СЕЛЕНСОДЕРЖАЩЕЙ НАНОСИСТЕМЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОМ**

Чернова Л.М., Валуева С.В., Морозова П.Ю., Вылегжанина М.Э.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
zenitik1993@gmail.com*

Фотодинамическая терапия (ФДТ) является перспективным методом лечения доброкачественных и злокачественных опухолей. Применение ФДТ в сочетании с химиотерапией, ионизирующим излучением или хирургическим вмешательством, позволяет повысить эффективность этих методов лечения. Этот метод основан на накоплении фотосенсибилизатора (ФС) в пораженной ткани после его введения. В качестве ФС в настоящей работе использовался Радахлорин, многокомпонентный препарат хлоринового ряда. Настоящая работа посвящена сравнительным исследованиям методом УФ/видимой спектроскопии и атомно-силовой микроскопии (АСМ) фотодеградации свободного (ФС-1) и связанного (ФС-2) Радахлорина (ФС-2- тройная наносистема: НЧ селена/полимерный стабилизатор/ Радахлорин). Было установлено влияние длительности облучения ФС-1 и ФС-2 на величину оптической плотности  $D$ , а также – на темпы изменения  $D$  в зависимости от состава ФС. Рассчитанные на основании данных УФ/видимой спектроскопии значения энергии запрещенной зоны ( $E_g$ ) и диаметра ( $d$ ) НЧ селена для ФС-2 (до и после облучения) показали отсутствие влияния облучения на величины параметров  $E_g$  и  $d$ , что может свидетельствовать о хорошей экранировке селенового ядра полимерным стабилизатором (процесс фотодеградации не затрагивает внутреннюю структуру ФС-2). Для ФС- 2 методом АСМ обнаружено (до облучения), что полимерный стабилизатор (ПС) препятствует ассоциации НЧ селена в растворе, способствуя формированию дискретных сферических наноструктур. Это неоднократно наблюдалось нами ранее в экспериментах для других селенсодержащих наносистем [1-3]. После облучения наноструктуры ФС-2 приобретают эллипсоидальную форму. Возможным следствием такого изменения формы наноструктур может быть нарушение симметрии электронного облака молекул ФС, что неизбежно приводит к снижению устойчивости ФС к внешним воздействиям, в том числе и к облучению светом.

### **Список литературы:**

- [1] Valueva S.V., Vylegzhhanina M.E., Borovikova L. N., Ivanov I. V., Yakimansky A. V. Journal of Sur. Invest.: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques **17**(1), 150-158 (2023). [2] Valueva S.V., Krasnopalova E.L., Borovikova L.N., Melenevskaya E.Yu., Yakimansky A.V. Journal of Applied Spectroscopy **91**(4), 754-760 (2024). [3] Valueva S.V., Krasnopalova E.L., Borovikova L.N., Morozova P.Y., Sokolova M.P., Melenevskaya E.Y., Yakimansky A.V. Nanobiotechnology Reports **1**(19), 108–115 (2024).

### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 24-25-00413).*

## **СЕКЦИЯ 1**

***СИНТЕЗ И МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ***

**ЗАОЧНЫЕ ДОКЛАДЫ**

## 1-С-01

# ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ПОЛИОРГАНОСИЛОКСАНОВ

Бондарев В.П., Арнгольд В.А., Селина В.А., Костылева Е.И., Новиков А.Н.

*Новомосковский институт Российского химико-технологического университета  
имени Д. И. Менделеева, г. Новомосковск, Тульская область  
bondarev.v.p@tuctr.ru*

Регулирование термоокислительной деструкции полидиметилсилоксанов происходит за счет введения в них антиоксидантов, подавляющих свободнорадикальные процессы окисления. Известно, что стандартные ингибиторы, такие как органические соединения, теряют свою активность в полимерах при 250–300°C. Поэтому в качестве термостабилизаторов лучше всего использовать соединения металлов, неорганические соли и комплексные соединения d-элементов. В работе синтезированы и изучены термостабилизаторы для кремнийорганических жидкостей и резин на основе легированного диоксида титана и металлоконтактирующих полиорганосилоксанов (МОС).

МОС синтезированы реакцией гидросилирирования ацетилацетонатов Cr(III), Ce(III), Sm(III) дифункциональным кремнийгидридом -  $\alpha,\omega$ -дигидроолигодиметилсилоксаном ( $(\text{HMe}_2\text{SiO}(\text{Me}_2\text{SiO})_6\text{SiMe}_2\text{H})$ ) при мольном соотношении ацетилацетонат металла:кремнийгидрид-1:3. Диоксид титана получали гидролизом четырёххлористого титана с последующим его легированием соединениями Cr(III), Ce(III), Sm(III) так, чтобы концентрация металла в  $\text{TiO}_2$  составляла 2,5,7,10 %. Синтезированные частицы  $\text{TiO}_2/\text{Cr}$ ,  $\text{TiO}_2/\text{Ce}$ ,  $\text{TiO}_2/\text{Sm}$  и МОС охарактеризованы методами ИК-спектроскопии, EDX, РФА.

Полученные растворимые в полиорганосилоксанах МОС/Cr, МОС/Ce МОС/Sm и нерастворимые  $\text{TiO}_2/\text{Cr}$ ,  $\text{TiO}_2/\text{Ce}$ ,  $\text{TiO}_2/\text{Sm}$  изучены в качестве термостабилизаторов для полидиметилсилоксанового каучука СКТН-А и полидиметилсилоксановой жидкости марки ПМС-50. Термостабильность СКТН-А определяли при 280 °C по времени начала гелеобразования, а ПМС-50 - методом ТГА при постоянной температуре 280 °C. Содержание легированного  $\text{TiO}_2$  составляло 2-10%, концентрация МОС -  $7 \cdot 10^{-3}$  моль/кг. Выявлено, что синтезированные добавки оказывают существенное влияние на термостабильность изучаемых полиорганосилоксанов. При этом наилучшие результаты получены у составов с  $\text{TiO}_2/\text{Cr}$  7% и МОС/Cr: время гелирования каучука с  $\text{TiO}_2/\text{Me}$  увеличивается с 2 ч до 15 ч, а с МОС/Me с 2 ч до 19 ч, термостабильность ПМС-50 увеличивается в 5-7 раз. Синтезированные термостабилизаторы приводят к повышению термостойкости СКТН-А. Происходит замедление термоокислительной деструкции и сдвиг данного процесса в область более высоких температур (с 300 до 380°C). Таким образом, синтезированные металлоконтактирующие полидиметилсилоксаны и легированный диоксид титана применимы в качестве ингибиторов термоокислительных процессов, протекающих в полиорганосилоксанах. При этом наиболее эффективны растворимые в полиорганосилоксанах МОС-Cr, МОС-Ce, МОС-Sm.

### Благодарности

*Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках исполнения Государственного задания № fssm-2024-0006 (Лаборатория ионных материалов).*

## 1-C-02

# СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СУЛЬФАТИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ХИТОЗАНА

Глазырина М.И.<sup>1,2</sup>, Маляр Ю.Н.<sup>1,2</sup>

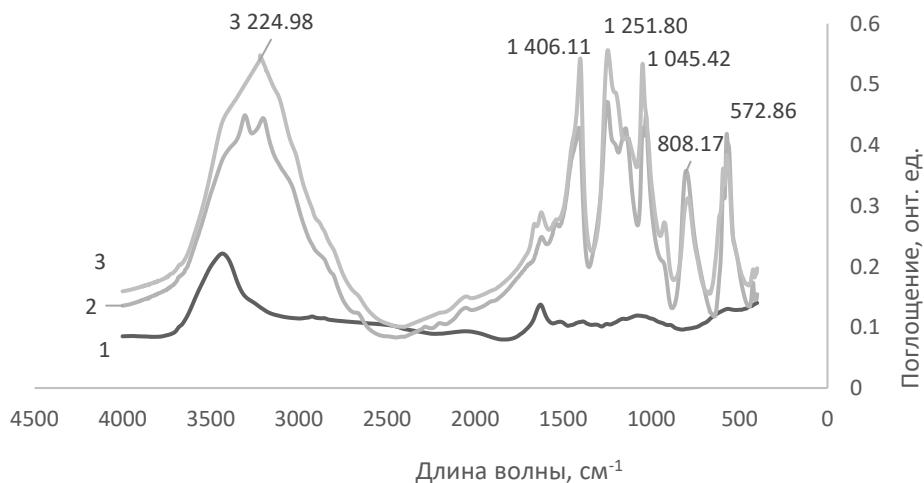
<sup>1</sup>Институт химии и химической технологии СО РАН, г. Красноярск

<sup>2</sup>Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

margo.glazyr@mail.ru

Одним из перспективных производных хитозана является сульфатированный хитозан. Он хорошо растворяется в воде, что особенно важно при создании систем транспорта лекарственных препаратов. Также сульфаты хитозана обладают антикоагулянтной, антиоксидантной и антибактериальной активностью, что обуславливает возможность его применения в различных областях медицины и пищевой промышленности [1].

В данной работе были получены образцы сульфатированного хитозана с помощью систем на основе сульфаминовой кислоты и сульфамата аммония с катализаторами: Amberlyst-15, Сибунит и Сибунит-4. Состав и строение полученных сульфатов хитозана подтверждено методами ИК-спектроскопии и элементного анализа. Данные ИК-спектроскопии подтверждают, что при сульфатировании с использованием сульфамата аммония замещение идет по гидроксильной группе в положении C6. При применении сульфаминовой кислоты помимо замещения по гидроксильной группе атома C6 начинают замещаться вторичные гидроксильные группы у атомов C3 и C4, а также происходит сульфатирование по аминогруппе в положении C2.



1 – водорастворимый хитозан, 2 - сульфатированный хитозан (сульфамат аммония, сибунит), 3 - сульфатированный хитозан (сульфаминовая кислота, сибунит)

Рис. 1 – ИК-спектры образцов водорастворимого хитозана и сульфатированного хитозана.

## Список литературы:

- [1] Варламов В.П., Хитин/хитозан и его производные: фундаментальные и прикладные аспекты 317-368 (2020)

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 22-73-10212-П).

## 1-С-03

# СИНТЕЗ И СВОЙСТВА СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛОНИТРИЛА И ФУРФУРИЛАКРИЛАТА

Исмайлов Д.А., Мариничев М.А., Томс Р.В., Гервальд А.Ю.

*МИРЭА – Российский Технологический Университет,  
Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова,  
кафедра химии и технологии высокомолекулярных соединений им. С.С. Медведева  
г. Москва  
ismaylov.daniil@bk.ru*

Интерес в разработке материалов на основе углеродного волокна (УВ) можно наблюдать во всём мире. Это связано с тем, что УВ обладает высокой прочностью по сравнению с традиционными материалами, термо- и химической стойкостью, низкой плотностью. Данные свойства обуславливают широкий круг применения: от военной и аэрокосмической отрасли до строительства и товаров народного потребления. Наиболее востребованным на рынке сырьем для производства УВ является полиакрилонитрил (ПАН) и сополимеры на его основе. Тем не менее, поиск дешевых альтернативных способов получения ПАН-волокна и УВ на его основе является актуальной задачей. Это возможно либо за счёт оптимизации процесса формования волокна, либо за счёт удешевления исходного сырья.

Чаще всего для получения ПАН-прекурсоров используют сополимеры акрилонитрила (АН) с сомономерами различной природы. Несмотря на большой объем исследований, проведенных за несколько десятков лет, остаются новые, ранее не изученные сомономеры. Одним из таких является мономер на основе фурфурилового спирта (ФС) и акриловой кислоты – фурфурилакрилат (ФА). Согласно литературным данным, ФС используют для получения высокотемпературных смол, поэтому можно ожидать отличные от алкилакрилатов термические свойства сополимеров. Фурфуриловый спирт – крупнотоннажный продукт, который получают из отходов биомассы.

В работе впервые получен сополимер акрилонитрила с фурфурилакрилатом и изучены термические свойства. ФА синтезировали переэтерификацией метилакрилата фурфуриловым спиртом. Сополимеры АН с ФА получали методом растворной полимеризации в среде диметилсульфоксида (ДМСО) в присутствии персульфата аммония при температуре 50 °С. Концентрацию ФА варьировали от 2.5 до 25 %молн в мономерной смеси.

Методом ГПХ установлено, что увеличение содержания ФА снижает ММ сополимера. В результате были получены сополимеры с M<sub>w</sub> от 15 до 60 кДа. Методами ЯМР и ИК-спектроскопии определили состав сополимеров.

Методом ДСК изучены термические эффекты сополимеров в динамическом режиме. Показано, что ФА приводит к снижению температуры циклизации сополимеров, несмотря на отсутствие функциональных карбоксильных или амидных групп. А в отличии от алкилакрилатов не приводит к увеличению температуры циклизации, выполняя роль инертного разбавителя.

## 1-С-04

# АПРОБАЦИЯ НЕКОТОРЫХ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ИХ СМЕСЕЙ В КАЧЕСТВЕ ПРАЙМЕРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ШТЫРЕВЫХ И СТЕРЖНЕВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Киселева Н.С., Пискарёв Н.А., Клепиков С.Н., Юрова И.В.

<sup>1</sup>*Новомосковский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева»  
kiseleva.n.s@muctr.ru*

Уникальные свойства кремнийорганических резин (КОР) горячей вулканизации (НТВ) предопределили их применение в производстве полимерных изоляторов для высоковольтных линий передачи электроэнергии, распределительных станций и подстанций. В сравнении с изоляторами первых двух поколений (фарфоровыми и стеклянными), данные изоляторы характеризуются в разы меньшей массой, ударопрочностью, гидрофобностью и другими положительными моментами [1].

Каждый элемент в конструкции полимерного изолятора играет важную роль. В производстве штыревых изоляторов принципиально важным является обеспечение хорошей адгезии КОР к поверхности стеклонаполненного полиамида, а в производстве стержневых – хорошей адгезии КОР к поверхности эпоксидного стеклопластикового стержня и металлического оконцевателя (оцинкованному железу или, в некоторых случаях, к алюминию).

Хорошая адгезия КОР к указанным поверхностям обеспечивается применением соответствующих праймеров (грунтовок). В ряду апробированных нами праймеров лучшим оказался праймер AUX G 3242 PRIMER от компании Wacker Chemie AG. Целью настоящей работы явилась первичная апробация возможности применения по целевому назначению диглицидилового эфира этиленгликоля (ДЭГ-1), 3-аминопропилтриэтоксисилана (АГМ-9), эпоксидного олигомера (ЭД-20), 3-метакрилокси- (А-174) и 3-глицидилоксипропил trimetoxсисилана (JH-0187), смесей А-174+JH-0187 (2:1, 1:1, 1:2 по массе, + пероксид дикумила до 1 %), смесей (аддуктов) ДЭГ-1+АГМ-9 и АГМ-9+олигодиметилсилоксандиол. Указанные продукты и их смеси использовали в виде растворов в изопропаноле или в толуоле. В качестве КОР использовали продукт SilFor 306/E/7040. На подложки (полиамид 6, стеклонаполненный полиамид ПА-6-210-КС, стеклопластик, металлические подложки) указанные продукты наносили из растворов в изопропаноле или толуоле различной концентрации.

В отношении большинства подложек наиболее эффективным является А-174. Самой инертной подложкой является оцинкованное железо.

### **Список литературы:**

[1] Ассоциация «Электросетьизоляция». Полимерные изоляционные конструкции для ВЛ. Развенчивание мифов // Электроэнергия. Передача и распределение. 6, 88-91 (2021).

### **Благодарности:**

*Работа выполнена в рамках гранта правительства Тульской области, договор № ДС/169 от 28 декабря 2024 года*

# ОСОБЕННОСТИ ДЕСТРУКЦИИ ПОЛИМЕРОВ ЛИНЕЙНОЙ СТРУКТУРЫ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДАМИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ С ОБРАТИМОЙ ДЕЗАКТИВАЦИЕЙ И ПОСТПОЛИМЕРИЗАЦИОННОЙ МОДИФИКАЦИИ

Ласкова Е.А., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф.

*<sup>1</sup>Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,*

*Нижний Новгород*

*kelena@ichem.inn.ru*

Развиваемая в последние десятилетия радикальная полимеризация с обратимой дезактивацией (Reversible-Deactivation Radical Polymerization – RDRP) позволила решить ряд проблем традиционной радикальной полимеризации: обеспечить контроль над составом и структурой полимеров, размером полимерной цепи, её функциональностью и топологией, а также над молекулярно-массовыми характеристиками полимеров. Поскольку полимеры стали неотъемлемой частью нашей жизни благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам и низкой стоимости, в настоящее время остро стоят вопросы по их модификации и переработке. Методы полимеризации RDRP позволяют получать полимерные материалы, содержащие в своей структуре функциональные группы. Такие возможности метода RDRP в будущем могут позволить решить спектр экологических вопросов и задач, связанных со вторичной модификацией полимеров.

Нами был проведен синтез высокомолекулярных алcoxсиаминов (ВАА) двумя способами: *in situ* Nitroxide-Mediated Radical Polymerization (NMRP) и Radical Trap-Assisted Atom Transfer Radical Coupling (RTA-ATRC) на основе стирола в присутствии *C*-фенил-*N*-*трет*.-бутилнитронов (рис. 1).

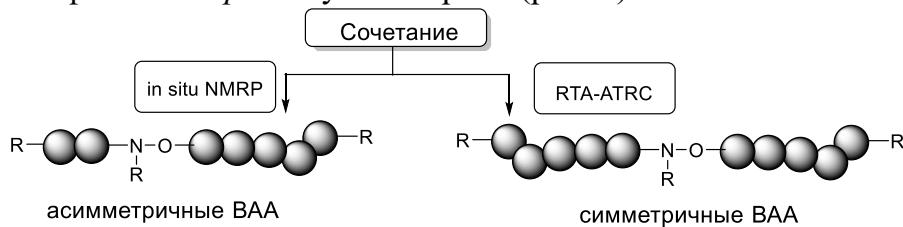


Рис. 1 – Структуры ВАА, полученных различными методами.

Исследована способность синтезированных ВАА к разложению под действием температуры, ультразвука в диапазоне 19.4–22.8 кГц и УФ-излучения широкого диапазона 100 – 400 нм. Установлено, что ВАА, синтезированные методом *in situ* NMRP имеют неравноценное отношение полимерных фрагментов (2:1). В случае синтеза ВАА постполимеризационной модификацией продукты имеют четко симметричную структуру. Показано, что скорость и разложение по лабильной С–О связи ВАА зависят не только от природы воздействующих факторов, но и от способа получения полимеров, их молекулярно-массовых характеристик, присутствия в системе кислотных агентов, способствующих разрушению С–О связи. Показана принципиальная возможность низкотемпературного разложения высокомолекулярных алcoxсиаминов при 60°C с участием производных непредельных кислот и при 25°C под действием ультразвука, а также синтеза блок-сополимеров на базе ВАА в данных условиях.

## **1-С-06**

### **МОДИФИКАЦИЯ СМЕСИ АБС-ПЛАСТИК + ПОЛИАМИД 6**

Плешкевич Д.В.<sup>1</sup>, Осипчик В.С.<sup>1</sup>, Алексеев А.А.<sup>2</sup>, Коробко Е.А.<sup>2</sup>, Клепиков С.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева»*

<sup>2</sup>*Новомосковский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева»  
pleshkevich.2015@mail.ru*

Акрилонитрилбутадиенстирольные пластики (АБС-пластики) и полиамид 6 являются полярными полимерами. Однако известный принцип «подобное совмещается с подобным» в данном случае не работает. Именно поэтому современные смеси АБС+ПА представляют собой материалы сложного состава, включающие компатабилизатор или один из исходных компонентов предварительно подвергается химической модификации. Спектр компатабилизаторов достаточно широк, однако их цена негативно сказывается на стоимости конечного материала.

В настоящей работе апробирована возможность применения по целевому назначения эпоксидного олигомера (ЭПО) KER-828 на примере совмещении АБС-пластика марки АБС-2020-31 с полиамидом ПА6-Л-211/311.

ЭПО вводили в количестве в количестве 0,5; 1,0 и 1,5 % сверх 100 % эквимассовой смеси исходных компонентов. Грануляцию материалов осуществляли стренговым методом (двухшнековый экструдер SHJ-20) при температуре расплава 230 °C. Отмечены технологические трудности экструзии композиций, содержащих 1,0 и особенно 1,5 % ЭПО, связанные с их низкой сыпучестью и явным повышением вязкостей получаемых расплавов, что нашло отражение в соответствующих весьма заметных значениях показателя текучести расплавов (ПТР).

Проведённые нами ранее исследования показали, что введение эпоксидных соединений как в состав полиамида 6, так и АБС-2020 вызывает сшивку их макромолекул. В данном случае эпоксидный олигомер связывает макромолекулы исходных компонентов и между собой.

Переработку гранулированных материалов в стандартные образцы осуществляли на термопластавтомате SSF-520 при условиях: температура по зонам шнека 180–200–220–235 °C, температура формы 20 °C, давление литья 90 МПа, время впрыска 1,5 с, давление подпитки формы расплавом после впрыска 60 МПа, время подпитки 5 с, время охлаждения без давления 30 с, время цикла литья 60 с.

Фактически отверждение смеси АБС-2020+полиамид 6 в присутствии добавок ЭПО заметно негативно сказывается на формировании ударопрочности смеси по Изоду с надрезом и в меньшей степени оказывает влияние на другие свойства. Комплексный анализ полученных результатов указывает на целесообразность дальнейших исследований с использованием более высокомолекулярных ЭПО.

#### **Благодарности**

*Работа выполнена в рамках гранта Правительства Тульской области, договор № ДС/169 от 28 декабря 2024 года.*

## 1-С-07

# ГЕТЕРОФАЗНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ СТИРОЛА В ПРИСУТСТВИИ АМФИФИЛЬНОГО СОПОЛИМЕРА N,N-ДИМЕТИЛАМИНОЭТИЛМЕТАКРИЛАТА

Пономарева Д.А., Силантьева Е.В., Бражникова Д.С., Серхачева Н.С.,  
Лобанова Н.А., Прокопов Н.И.

*МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва*  
*d89169750510@yandex.ru*

В последнее время среди огромного разнообразия способов получения полимерных частиц особую популярность приобрела гетерофазная полимеризация с обратимой передачей цепи по механизму присоединения-фрагментации (ОПЦ) [1]. Эту реакцию по праву можно считать универсальной и простой в исполнении. Ее отличительной особенностью является применение в качестве агента обратимой передачи цепи полимерного продукта, ранее полученного по механизму ОПЦ. Сегодня в качестве таких агентов используют амфифильные сopolимеры различного состава. Помимо функции стабилизатора образующихся частиц, они могут придать конечным частицам новые интересные свойства.

Настоящая работа посвящена изучению полимеризации стирола (Ст) в водной среде в присутствии сopolимера N,N-диметиламиноэтилметакрилата и метилакрилата (5 % мольн.), содержащего тритиокарбонатную группу на конце цепи (П(ДМАЭМА-со-МА)) ( $M_n \sim 6000$ ), полученного в работе [2]. Полимеризацию Ст проводили в водной среде при  $pH = 2$  (об. соотношение Ст : вода = 1 : 10) и 70 °C. Реакцию инициировали с помощью ДАК (1,5 % масс.), растворенного в Ст. Методом динамического рассеяния света было установлено, что в начале реакционной смеси состояла из индивидуальных макромолекул П(ДМАЭМА-со-МА) (8 нм) и микрокапель Ст (282 нм). При увеличении конверсии Ст до 10 % происходит наращивание цепи П(ДМАЭМА-со-МА) несколькими звеньями Ст, часть макромолекул стабилизирует поверхность микрокапель Ст, а часть теряет растворимость в водной среде с образованием агрегатов (1200 нм). По окончании реакции средний диаметр полимерных частиц был близок к диаметру исходных микрокапель Ст. Поэтому мы можем предположить, что в этой реакции основным источником полимерных частиц являются микрокапли мономера. Далее планируется подобрать условия, при которых будет исключена агрегация сopolимера на стадии формирования частиц.

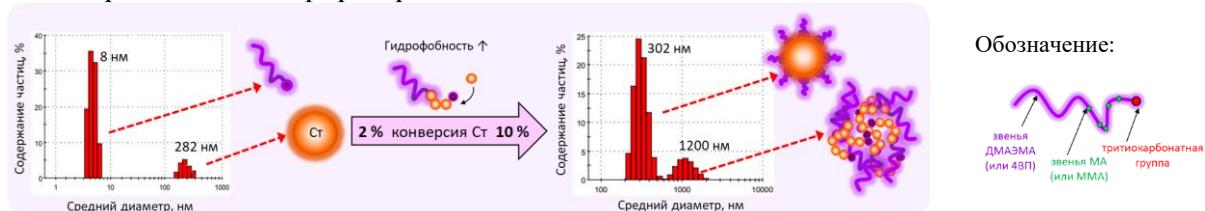


Рис. 1 – Схема формирования частиц в присутствии П(ДМАЭМА-со-МА).

## Список литературы:

- [1] J. B. McLeary, B. Klumperman Soft Matter **2**, 45-53 (2006).  
[2] A.V. Plutalova, N.S. Serkhacheva, R.V. Toms, N.I. Prokopov, YU.G. Bogdanova, E.A. Lysenko, E.V. Chernikova Polymer Science, Series A **66**, 363-375 (2024).

## 1-С-08

# КАРБОКСИМЕТИЛИРОВАННЫЕ ЛИГНИН-ПОЛИСАХАРИДНЫЕ КОМПОЗИТЫ ИЗ НЕПИЩЕВОЙ БИОМАССЫ ШИШЕК СОСНЫ СИБИРСКОЙ

Семина Е.А.<sup>1</sup>, Кушнир Е.Ю.<sup>1</sup>, Базарнова Н.Г.<sup>1</sup>, Лисих Д.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», г. Барнаул

<sup>2</sup>ООО «Бурэкс», с. Лесное, Бийский р-н, Алтайский край

*seminala071@gmail.com*

Карбоксиметилирование – один из важнейших методов модифицирования растительных полимеров и их природных композитов. Благодаря ценным свойствам карбоксиметилированные лигнин-полисахаридные композиты могут применяться в качестве кольматантов [1], регуляторов роста растений [2], структурообразователей почвы [3] и адьювантов агропрепаратов [4]. Свойства и возможности применения этих материалов могут меняться в широких пределах в зависимости от состава и структуры исходной биомассы, условий ее модифицирования. Это обуславливает необходимость поиска новых видов растительной биомассы и условий для получения карбоксиметилированных лигнин-полисахаридных композитов.

В данной работе исследован процесс карбоксиметилирования непищевой биомассы шишек сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour)monoхлорацетатом натрия в среде пропанола-2 с применением механических воздействий. Получение и анализ карбоксиметилированных лигнин-полисахаридных композитов проведены по [5].

Показано, что особенности фракционного и химического состава растительной биомассы (размер частиц не более 0,67 мм; 53,2 % лигнина, 21,9 % целлюлозы) способствуют получению модифицированных лигнин-полисахаридных композитов с высоким содержанием карбоксиметильных групп и хорошей растворимостью в водных средах без применения механических воздействий. Установлено, что предварительный механический размол смеси исходной биомассы с гидроксидом натрия в сочетании с ультразвуковой обработкой реакционной массы на стадиях щелочной активации и О-алкилирования приводит к увеличению растворимости карбоксиметилированных лигнин-полисахаридных композитов до 89–92 % и содержания карбоксиметильных групп до 6,4–7,1 ммоль/г. Характеристики полученных продуктов предопределяют возможную эффективность их применения в качестве полифункциональных препаратов и адьювантов в сельском хозяйстве.

### Список литературы:

- [1] Базарнова Н.Г., Чубик П.С., Хмельницкий А.Г., Галочкин А.И., Маркин В.И. Журнал прикладной химии **74** (4), 660–666 (2001). [2] Калюта Е.В., Мальцев М.И., Маркин В.И., Катраков И.Б., Базарнова Н.Г. Химия растительного сырья (2), 145–152 (2016). [3] Мальцев М.И., Калюта Е.В., Маркин В.И., Катраков И.Б. Химия растительного сырья (3), 355–362 (2019). [4] Ступина Л.А. Вестник Алтайского государственного аграрного университета (7), 20–27 (2018). [5] Базарнова Н.Г. Химия древесины и ее основных компонентов. Барнаул: АлтГУ, 2002.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках хоздоговора АлтГУ № 163/2023 и при поддержке Программы развития АлтГУ на 2021–2030 годы, реализуемой в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».

## 1-О-09

# ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИКАТИОННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ КСИЛАНА

Середа М.В.<sup>1,2</sup>, Маляр Ю.Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск*

<sup>2</sup>*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт химии и химической технологии Сибирского отделения Российской академии наук», г. Красноярск  
seredamari21@gmail.com*

Ксилан — второй по распространённости природный полисахарид после целлюлозы. Несмотря на ограниченную растворимость и статус побочного продукта сельскохозяйственной и лесной промышленности, он используется в пищевой и косметической отраслях [1]. Для увеличения областей применения ксилана разрабатываются различные методы его модификации. Одним из перспективных методов модификации является кватернизация, заключающаяся во введении кватернарных аммониевых групп в структуру полисахарида. Присутствие данных групп может придать ксилану новые свойства: повышенную реакционную способность; растворимость в воде; возможность комплексообразования с металлами, полианионами и биологически активными веществами [2]. Модифицированный ксилан может найти применение в создании плёнок и покрытий, препятствующих развитию патогенных организмов.

В ходе оптимизации процесса получения кватернизованных производных ксилана установлено, что максимальная степень замещения и приемлемый уровень деструкции полимера достигается при pH=11 и продолжительности 24 часа, в присутствии реагента ЕРТМАС. Включение заместителей подтверждено элементным анализом и ИК-спектроскопией, согласно которой в кватернизованных образцах появляется характеристический пик ( $1481 \text{ см}^{-1}$ ), соответствующий С-Н симметричному колебанию метильных групп четвертичных аммониевых заместителей.

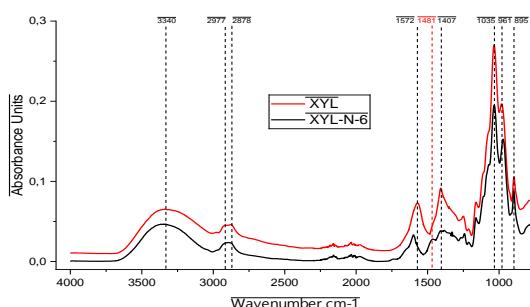


Рис. 1 – ИК-спектр XYL и XYL-N-6.

### Список литературы:

- [1] Азаров В. Химия древесины и синтетических полимеров, 628 (1999).  
[2] Левданский В. Ж. Сибирского Федерального Университета 14, 325-336 (2021).

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 22-73-10212-П).

## 1-С-10

# ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ПОСТПОЛИМЕРИЗАЦИОННОЙ МОДИФИКАЦИИ БРОМСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРОВ В ПРИСУТСТВИИ КИСЛОРОДА ВОЗДУХА

Фролов К.Д., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф.

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород, Россия  
kirushafrolloff@yandex.ru*

Развитие способов осуществления макромолекулярного дизайна и модификации полимеров актуально как с теоретической точки зрения химии высокомолекулярных соединений, так и практического применения. Полимеризация с переносом атома (ATRP) является одним из самых эффективных методов синтеза полимеров с заданными молекулярно-массовыми характеристиками и топологией, а в сочетании с постполимеризационной модификацией наиболее результативно решает указанные задачи. В частности, проведение реакций сочетания галогенсодержащих полимеров в присутствии каталитических систем и спиновых ловушек (Radical Trap-Assisted Atom Transfer Radical Coupling – RTA-ATRC) позволяет получить симметричные высокомолекулярные алкоксиамины (ВАА) с заданной молекулярной массой и макромолекулы различной топологии.

Нами разработан подход сочетания полистирола, полученного методом ATRP и содержащего концевые атомы брома, в присутствии С-фенил-N-трет.бутилнитрона (ФБН) при 60 – 80 °C в среде диметилсульфоксида при участии каталитической системы CuBr<sub>2</sub>/пентаметилдизилентриамин на воздухе. В качестве восстановителей CuBr<sub>2</sub> и деоксигенаторов применяли аскорбиновую кислоту (АК) и метилэтилкетоксим (МЕКО). Степень сочетания для системы с АК составила 50-70%, что говорит о высокой эффективности АК в качестве восстановителя и деоксигенатора. Наличие нитроксильного фрагмента в цепи было доказано проведением деструкции полимера при температуре 130°C, приводящей к снижению молекулярной массы до исходных значений. В случае использования в качестве восстановителя и деоксигенатора МЕКО процесс сочетания полистирола не реализуется. Низкая эффективность каталитических систем с участием МЕКО может быть обусловлена слабо выраженной восстанавливающей способностью МЕКО или его ингибирующими свойствами. С целью более детального выявления влияния МЕКО на процессы сочетания макромолекул нами проводились модельные эксперименты по полимеризации стирола на традиционном радикальном инициаторе динитриле азобisisомасляной кислоты при 90 и 110 °C в его присутствии. Показано, что МЕКО в концентрации 1-10 моль% не влияет на скорость полимеризации стирола и его молекулярно-массовые характеристики. При повышении концентрации МЕКО до 50 моль% процесс полимеризации стирола и молекулярно-массовые параметры полимеров идентичны характеристикам при проведении растворной полимеризации в среде толуола. Установленные закономерности полимеризации виниловых мономеров в присутствии МЕКО однозначно свидетельствуют, что метилэтилкетоксим не обладает ингибирующими свойствами.

## 1-С-11

# ОБРАТИМО-ДЕЗАКТИВИРУЕМАЯ РАДИКАЛЬНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ВЫСШИХ АЛКИЛМЕТАКРИЛАТОВ В СИНТЕЗЕ ЛИНЕЙНЫХ И РАЗВЕТВЛЕННЫХ ВЯЗКОСТНЫХ ПРИСАДОК К МАСЛАМ

Шанвар С.,<sup>1</sup> Колякина Е.В.,<sup>1</sup> Перепелицина Е.О.,<sup>2</sup> Гришин Д.Ф.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского*

<sup>2</sup>*Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН  
sameehshanwar.1995@gmail.com*

Одна из приоритетных задач нефтехимической промышленности состоит в совершенствовании качества продуктов нефтепереработки, в частности, смазочных материалов. Достижение улучшенных вязкостно-температурных характеристик нефтяных масел требует использования многофункциональных полимерных присадок. В последнее время в современной химии полимеров интерес к макромолекулам, обладающим сложными топологическими формами, такими как звездообразные, разветвленные и другие. Макромолекулы разветвленного строения могут включать в свою структуру ряд функциональных центров, обладать более высокой плотностью мономерных звеньев на единицу объема, что придает им специфические свойства. Нами разработаны подходы прямого синтеза вязкостных присадок на основе сополимеров эфиров метакриловой кислоты фракции C<sub>10</sub>-C<sub>14</sub> в условиях обратимо-дезактивируемой радикальной полимеризации и постполимеризационной модификации полиалкилметакрилатов (ПАМА). Указанные методологии позволяют получать полимеры различной архитектуры (линейные и разветвленные) с четко заданными молекулярно-массовыми характеристиками. Синтез линейных полимеров проводился в присутствии источников стабильных нитроксильных радикалов 2-метил-2-нитрозопропана и С-фенил-N-трет.-бутилнитрона (ФБН) или агента передачи – 2-пропил-2-цианодитиобензоата (ПЦБ). Разветвленные полимеры получали прямым синтезом в присутствии дивинилбензола (ДВБ) и ФБН, а также методом arm-first модификации линейных ПАМА, имеющих концевые дитиобензоатные фрагменты, с участием ДВБ и каталитической системы на основе Cu (I). Оценены вязкостно-температурные свойства базового нефтяного масла и индустриального масла И-20А с введенными линейными и разветвленными полимерами. Установлено, что вследствие большей компактности разветвленные полимеры обладают меньшей загущающей способностью при высоких температурах в сравнении с линейными макромолекулами с сопоставимой молекулярной массой. Показано, что линейные полимеры с низкими значениями молекулярных масс и полидисперсностью независимо от выбранного способа получения обладают большей стойкостью к механической, термической и термоокислительной деструкции. Вместе с тем, разветвленные полимеры проявляют самокомпенсирующие свойства в отношении индекса вязкости при механической деструкции присадки в масле.

## **СЕКЦИЯ 2**

### ***ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ И ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ***

**УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ**

## 2-О-01

# СТРУКТУРНО-КОНФОРМАЦИОННЫЕ И ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МОЛЕКУЛЯРНЫХ ЩЕТОК НА ОСНОВЕ ОЛИГООКСИАЛКИЛЕНОВЫХ МОНОМЕРОВ

Симонова М.А.<sup>1</sup>, Садков Д.Ю.<sup>1</sup>, Каморин Д.М.<sup>2</sup> Симагин А.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Нижегородский государственный технический  
университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород,  
sadden2295@mail.ru

Разработка рациональных методов получения новых типов биологически чувствительных полимерных щеток с контролируемыми конформационными и фазовыми переходами в водных растворах, а также оценка перспектив их использования в качестве полимерных контейнеров для адресной доставки и контролируемого высвобождения лекарственных препаратов в организме является важной фундаментальной задачей современной полимерной науки.

Цель работы: синтез и исследование влияния состава, температуры и концентрации на молекулярно-масовые и гидродинамические характеристики и структурно-конформационные и термочувствительные свойства, а также способность к агрегации полученных методом контролируемой радикальной РАФТ-полимеризации аммонийсодержащих сополимеров. В качестве мономеров в данной работе использованы четвертично аммониевое соединение ЧАСМ, метоксиолигоэтиленгликольметакрилат МОЭГМА со средним числом этиленгликольных звеньев в заместителе равном пяти - C<sub>1</sub>E<sub>5</sub>M, а также АОЭГМ со средним числом этиленгликольных звеньев в заместителе равном 10 и алкильным фрагментом C<sub>12</sub> - C<sub>12</sub>E<sub>10</sub>M.

В работе в качестве методов исследования использовались статическое, динамическое рассеяние света, турбидиметрия и рефрактометрия. Молекулярно-массовые характеристики были определены в ДМФА и ацетонитриле. Термочувствительные свойства полимеров изучены в водных и водно-солевых растворах (0.1M NaCl).

Проведенные исследования показали возможность получения полимерных молекулярных щеток C<sub>1</sub>E<sub>5</sub>M-C<sub>12</sub>E<sub>10</sub>M-ЧАСМ на основе гидрофильного, гидрофобного мономеров методом "прививка через" в условиях ОПЦ полимеризации.

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что макромолекулы C<sub>1</sub>E<sub>5</sub>M-C<sub>12</sub>E<sub>10</sub>M-ЧАСМ в водных растворах продемонстрировали высокую амфи菲尔ность, выражющуюся в высокой склонности к образованию мицеллярных структур в водных растворах при низких концентрациях, а также в термочувствительных свойствах по типу НКТР. Увеличение доли звеньев алкоксиолигоэтиленгликольметакрилата C<sub>12</sub>E<sub>10</sub> приводит к снижению значений температур фазовых переходов в растворах C<sub>1</sub>E<sub>5</sub>M-C<sub>12</sub>E<sub>10</sub>M-ЧАСМ.

## 2-О-02

# СОРБЦИЯ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ ПОЛИМЕРОМ НА ОСНОВЕ ГЛИЦИДИЛАКРИЛАТА

Мясищева А.С.<sup>1</sup>, Петрова Ю.А.<sup>1</sup>Липин В.А.<sup>1</sup>, Евдокимов А.Н.<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского  
государственного университета промышленных технологий и дизайна,  
г. Санкт-Петербург  
yulia.petrova1997@yandex.ru*

Деятельность большинства промышленных предприятий, связанных с химическими и металлургическими производствами, сопровождается в той или иной степени сбросами отходов, содержащих тяжелые металлы. Тяжелые металлы оказывают негативное воздействие на окружающую среду и безопасность жизнедеятельности человека. Накопление тяжелых металлов в организме человека в больших количествах представляет угрозу для здоровья и увеличивает риск развития различных отклонений его жизненно важных органов [1].

Целью работы является получение полимера на основе глицидилакрилата и исследование его сорбционных свойств по отношению к ионам  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$  и кинетики сорбции.

Глицидилакрилат получали взаимодействием акриловой кислоты с эпихлоргидрином в течении 2 часов при температуре 60-70°C [2]. Сорбент получали полимеризацией ГА в среде диметилформамида в присутствии инициатора азобisisобутиронитрила [3].

Была исследована равновесная сорбция ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  полученным сорбентом, которая составила 100-140 ммоль/г. Установлено, что процесс сорбции носит физический характер и описывается моделью Ленгмюра, что свидетельствует о наличие гомогенной поверхности. Рассчитанные значение  $R_L$  указывает на благоприятную адсорбцию ионов металлов на адсорбенте. Согласно модели Дубинина-Радушкевича численные значения кажущейся энергии сорбции ионов меди и никеля <8 кДж/моль, что свидетельствует о физической природе сорбции. Отрицательные значения  $\Delta G$ , указывают на то, что процесс сорбции ионов металлов является самопроизвольным. Установлено, что кинетика процесса сорбции описывается моделью псевдо-первого порядка.

Методом сканирующей электронной микроскопии исследована морфологическая структура полимера на основе глицидилакрилата и его комплекса с  $\text{Cu}^{2+}$ . Полимер имеет однородную морфологию и непористую поверхность. После сорбции ионов меди, образец имеет структуру с распределёнными в объеме полимер-металлического комплекса ионами  $\text{Cu}^{2+}$ .

### **Список литературы:**

- [1] Увайсова С.М., Бабуев М.А., Дамыров У.М. ЖАХ. 2023. Т. 78. № 5 С. 420-426.
- [2] Евдокимов А.Н., Курзин А.В., Липин В.А. Петрова Ю.А. Бутлеров. сооб. 2023. Т. 76. № 12. С. 167. EDN: ZODHMO.
- [3] Липин В.А., Евдокимов А.Н., Петрова Ю.А. Патент РФ, № 2834745, дата регистрации 13.02.2025. Бюл. №5. EDN: YQPKYR.

## 2-О-03

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ МЕМБРАН К РЕДОКС-АКТИВНЫМ ПОЛИМЕРАМ И МИКРОГЕЛЯМ

Нестеров Н.Б.<sup>1</sup>, Кожунова Е.Ю.<sup>1</sup>, Иноземцева А.И.<sup>1,2</sup>, Николенко А.Д.<sup>1,2</sup>,  
Жванская Е.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семёнова  
Российской Академии наук, Москва, Россия

*geogruf@gmail.com*

На данный момент проточные аккумуляторы являются одними из перспективных устройств для использования в крупных стационарных системах хранения энергии. В области разработки проточных аккумуляторов наблюдается тенденция перехода от традиционных неорганических редокс-систем к органическим системам [1]. Замена редокс-систем на основе дорогих и, зачастую, токсичных неорганических соединений на редокс-активные органические соединения может способствовать созданию более дешевых и экологичных проточных аккумуляторов.

Как известно, применение в проточных аккумуляторах низкомолекулярных редокс-активных компонентов сопряжено с использованием дорогостоящих мембран для предотвращения саморазряда аккумулятора вследствие эффекта кроссовера. Использование высокомолекулярных систем с «пришитыми» редокс-активными группами позволяет существенно снизить требования к материалам мембранны [2]. Основным недостатком этого подхода является высокая вязкость растворов, применение микрогелей помогает решить эту проблему. Целью данной работы было исследование проницаемости редокс-активных линейных полимеров и микрогелей сквозь различные мембранны, используемые в проточных батареях.

В данной работе были синтезированы микрогели на основе НИПА и N-(3-аминопропил) метакриламида гидрохлорида, микрогели на основе НИПА и акриловой кислоты (АК) и линейные полимеры на основе АК с различной длиной цепи. Затем была проведена модификация этих микрогелей и полиакриловых кислот разной молекулярной массы, к которым пришивались 4-амино-2,2,6,6-тетраметилпиперидин-1-оксил или 4-(3-карбоксипропанамидо)-ТЕМПО. В качестве мембранны были выбраны ионообменные мембранны NAFION-115 и AMI-7001s, а также пористая полипропиленовая мембра ПОРП-А1 и диализная.

Проницаемость была определена с помощью ячеек с фоновым электролитом и электролитом с полимером, разделенных исследуемой мембранны. Концентрация определена с помощью метода циклической вольтамперометрии. По результатам были выбраны лучшие для проточных батарей носители редокс-активных групп и мембранны.

### Список литературы:

[1] Gentil S., Reynard D., Girault H.H. Aqueous Organic and Redox-Mediated Redox Flow Batteries: A Review. Curr. Opin. Electrochem. 2020, 21, 7–13. [2] Sukegawa T., Masuko I., Oyaizu K., Nishide H. Macromolecules 2014, 47 (24), 8611–8617

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-13-00115-П).

## 2-О-04

# ДИНАМИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СМЕСЕЙ ФИБРОИНА ШЕЛКА С ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Рафикова А.Р.<sup>1</sup>, Миляева О.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,  
г. Санкт-Петербург  
st068232@student.spbu.ru*

Материалы на основе фибропина шелка (SF) привлекают значительный интерес благодаря своей биосовместимости и большому разнообразию морфологий [1]. Одним из подходов к получению материалов на основе SF является использование границы раздела флюидных фаз в качестве основы для самосборки белков [2]. Поверхностно-активные вещества (ПАВ) могут изменять свойства адсорбционных слоев SF, способствуя или предотвращая образование сетей волокон SF. Цель данной работы состоит в определении влияния двух ионных ПАВ – цетилtrimетиламмоний бромида (CTAB) и додецилсульфата натрия (SDS) на динамические поверхностные свойства растворов SF. Динамическая поверхностная упругость, поверхностное натяжение, толщина пленки и количество адсорбированного вещества были определены в процессе формирования смешанного адсорбционного слоя при разных концентрациях ПАВ. Микроморфология поверхностного слоя вблизи равновесного состояния была охарактеризована методом атомно-силовой микроскопии (ACM).

Увеличение концентрации обоих ПАВ, независимо от их заряда, приводит к снижению динамической поверхностной упругости, динамического поверхностного натяжения, количества адсорбированного вещества и толщины пленки относительно слоев SF в отсутствии каких-либо добавок. Этот эффект можно объяснить постепенным разрушением упорядоченных структур, образуемых молекулами SF в поверхностном слое, что подтверждается ACM. На первом этапе, когда концентрация поверхностно-активного вещества составляет менее  $1 \cdot 10^{-5}$  M, оно способствует образованию внутри- и межмолекулярного  $\beta$ -слоя, что приводит к росту изначально почти двумерной сети в направлении Z без развития лентовидных агрегатов. Дальнейшее увеличение содержания ПАВ в смешанной системе приводит к переходу от сплошного слоя к скоплению отдельных аморфных агрегатов. В области концентраций выше ККМ молекулы белка оказываются практически полностью вытесненными из поверхностного слоя свободными молекулами ПАВ.

### **Список литературы:**

- [1] Fan L., Li J.-L., Cai Z., Wang X. Nature Communications. **12**, 2375 (2021).
- [2] Milyaeva O.Y., Akentiev A.V., Bykov A.G., Miller R., Rafikova A.R., Rotanova K.Y., Noskov B.A. Colloids and Interfaces. **8** (3), 35 (2024).

### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 23-73-10021).

## 2-О-05

### КИНЕТИКА ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ ПОЛИПРОПИЛЕНКАРБОНАТА

Минеева К.О.<sup>1</sup>, Гук Л.Д.<sup>1</sup>, Ржевский С.А.<sup>2</sup>, Соломин И.О.<sup>1</sup>, Плуталова А.В.<sup>1</sup>,  
Черникова Е.В.<sup>1,2</sup>, Асаченко А.Ф.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», г. Москва

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиеva Российской академии наук, Москва  
*kominueeva@ya.ru*

В последние годы особое внимание уделяется проблемам вторичной переработки полимеров, одним из вариантов которой является химический рециклинг, позволяющий получать из полимеров мономеры. Алифатические поликарбонаты являются примером полимеров, способных разлагаться до циклических карбонатов под действием ряда факторов. Типичным примером таких поликарбонатов является полипропиленкарбонат (ППК), образующий циклический пропиленкарбонат при нагревании выше 180 °C. Несмотря на то, что термодеструкция ППК изучается в течение нескольких десятков лет, данные о кинетике и механизме этого процесса остаются противоречивыми [1].

Цель данной работы заключается в изучении термодеструкции ППК в инертной атмосфере. ППК ( $M_n = 91.4 \times 10^3$ ,  $D = 1.44$ ) синтезирован сополимеризацией рацемического пропиленоксида и CO<sub>2</sub> под действием катализатора – рацемического саленового комплекса кобальта и сокатализатора – хлорида бис-((трифенилфофсин)иминия). Установлено, что при нагревании ППК в отсутствие кислорода воздуха на начальных стадиях деструкция протекает по случайному механизму, что приводит к экспоненциальному понижению молекулярной массы полимера; при этом пропиленкарбонат практически не выделяется. При понижении  $M_n$  полимера до  $\sim 40 \times 10^3$  начинает преобладать циклодеполимеризация, что сопровождается быстрым исчезновением полимера и образованием пропиленкарбоната. Определены константы скорости деструкции ППК, которые составили  $(6.7 \pm 0.8) \times 10^{-5}$ ,  $(7.0 \pm 0.7) \times 10^{-5}$ ,  $(43.4 \pm 0.3) \times 10^{-5}$  и  $(55.0 \pm 0.4) \times 10^{-5}$  ч<sup>-1</sup> при 150, 160, 170 и 180 °C, соответственно, а также энергия активации, равная 130±40 кДж/моль.

При добавлении к полимеру малых количеств саленовых комплексов Co<sup>2+</sup> и Co<sup>3+</sup> скорость деструкции возрастает. При этом на начальных стадиях протекает случайная деструкция, которая переходит в циклодеполимеризацию при понижении  $M_n$  полимера. Показано, что скорость деструкции убывает в ряду: Co<sup>3+</sup> > Co<sup>2+</sup> > без комплекса Co. Определены константы скорости деструкции при 160 °C, которые составили  $(3.6 \pm 0.4) \times 10^{-3}$  ч<sup>-1</sup> и  $(2.2 \pm 0.2) \times 10^{-3}$  ч<sup>-1</sup> для комплексов Co<sup>3+</sup> и Co<sup>2+</sup> соответственно.

#### Список литературы:

- [1] Chernikova E.V., Beletskaya I.P. Uspekhi Khimii. – 2024. – Т. 93. – №. 2. – С. 1–48.

## 2-О-06

# ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ И КОНФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАТРИЕВОЙ СОЛИ ПОЛИ- 4-МЕТАКРИЛОИЛАМИНОСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

Гостева А.А.<sup>1</sup>, Доммес О.А.<sup>1</sup>, Окатова О.В.<sup>1</sup>, Нестерова Н.А.<sup>1</sup>, Панарин Е.Ф.<sup>1</sup>,  
Разгуляева Д.Н.<sup>2</sup>, Клабуков А.М.<sup>2</sup>, Павлов Г.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константина» –  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –

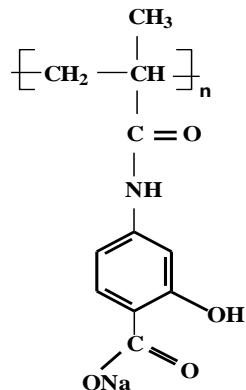
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>ФГБУ «НИИ гриппа им. А.А. Смородинцева» Минздрава России,

г. Санкт-Петербург

anna.gosteva.imc@gmail.com

Поли-*n*-метакрилоиламиносалициловая кислота (поли-*n*-МАСК) и ее сополимеры обладают высокой противовирусной активностью в отношении вирусов, вызывающих респираторные инфекции (гриппа, герпеса, респираторно-синцитиального) [1].



Структура поли-*n*-МАСК

Поли-*n*-МАСК синтезирована методом классической радикальной полимеризации. Методами молекулярной гидродинамики изучена в разбавленных солевых и щелочных растворах в широком интервале молекулярных масс. Получены молекулярные характеристики (характеристическая вязкость, коэффициенты диффузии и седиментации) и скейлинговые соотношения в 0.1M NaCl+0.1M NaOH. Длина сегмента Куна *A* макромолекул оценена с помощью теории Грэя – Блюмфельда – Хирста и с помощью программы Multi-HYDFIT. Проведено сравнение с другими макромолекулярными структурами винилового ряда.

### Список литературы:

[1] Panarin E.F., Fischer A.I., Nesterova N.A. [et al.] Russian Chemical Bulletin **71**, 2352–2357 (2022) – DOI 10.1007/s11172-022-3662-4.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания № 1023031700036-2-1.4.4.

## 2-О-07

# ТЕРМОСТОЙКИЕ ПОЛИИМИДНЫЕ НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СЕПАРАТОРОВ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Крафт В.Е.<sup>1,2,3</sup>, Ваганов Г.В.<sup>1</sup>, Красилина Д.А.<sup>3</sup>, Донда Е.А.<sup>3</sup>, Красилин А.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Филиал НИЦ "Курчатовский институт" - ПИЯФ - ИВС,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>3</sup>*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН  
Sparta3006@inbox.ru*

В настоящее время актуальным является вопрос безопасной эксплуатации литий-ионных аккумуляторов (ЛИА), широко применяющихся в электротранспорте и практически во всех видах электроники. Одной из проблем эксплуатации ЛИА является возможность возгорания из-за нагрева аккумулятора при работе на высоких токах либо по причине нарушения целостности аккумулятора из-за внешних воздействий. Для снижения рисков возгорания предлагается использовать сепараторы из термостойких полиимидных (ПИ) материалов [1].

Целью работы является получение ПИ нетканых сепараторов методом ЭФ и определение их физико-химических и эксплуатационных характеристик. В данной работе нетканый ПИ материал получен методом электроформования (ЭФ) [2] из раствора полиамидокислоты (ПАК) на основе пиromеллитового диангидрида (ПМ) и 4,4'-оксидифенилендиамина (ДАДФЭ) в диметилформамиде. В работе проведен сравнительный анализ свойств нетканых ПИ и коммерчески доступного 3-слойного сепаратора марки Celgard 2325.

Полученный нетканый ПИ материал имеет высокую термостойкость ( $T = 550$  °C), прочность на растяжение 60 МПа, обладает высокой пористостью (60-70%), хорошо смачивается электролитом, тем самым обеспечивая высокие (2.6 мСм/см) значения ионной проводимости. Гальваностатические измерения показали, что созданный нетканый ПИ сепаратор обеспечивает стабильно высокую удельную емкость макетов при работе на высоких токах.

### Список литературы:

[1] Shi C., Zhang P., Huang S., He X., Yang P., Wu D., Sun D., Zhao J. J Power Sources **298**, 158–165 (2015).

[2] Матвеев А.Т., Афанасов И.М. Получение нановолокон методом электроформования Москва, МГУ (2010).

### Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Санкт-Петербургского научного фонда и Российского научного фонда № 25-19-20096, <https://rscf.ru/project/25-19-20096/>.

## 2-О-08

# СИНТЕЗ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В КАТАЛИЗЕ ПОЛИАМФОЛИТ-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Макурина И.С.<sup>1</sup>, Липин В.А.<sup>1</sup>, Петрова Ю.А.<sup>1</sup>, Пошивина Т.А.<sup>2</sup>, Мальцева Н.А.<sup>3</sup>,  
Вишневская Т.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Высшая Школа Технологии и Энергетики  
Санкт-Петербургского государственного университета промышленных  
технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>ООО "Алкорус Консалтинг" наб. Макарова, 18, лит. А, помещ. 3-Н,  
г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
nomer79600056903@yandex.ru

Полиамфолиты способны образовывать комплексы с ионами металлов, обладающие высокой катализитической активностью, селективностью и стабильностью. Такие хелатные соединения могут быть использованы при создании гомогенных и гетерогенных катализаторов [1].

Цель работы состояла в синтезе катализаторов на основе комплексов полиамфолит-кобальт и полиамфолит-никель и изучении их активности в реакции окисления CO в сравнении с аналогичными катализаторами на основе Co(II) и Ni(II).

Синтезированы полиакриловая кислота и полиамфолиты на основе полиакриловой кислоты и алифатических диаминов [2-3]. Получены комплексные соединения при взаимодействии водных растворов полиамфолитов с водными растворами  $\text{CoSO}_4$  или  $\text{NiSO}_4$ . Структура образованных полиамфолит-металлических комплексов подтверждалась методом ИК-спектроскопии. Установлено, что получение комплексов происходит самопроизвольно, а также, что устойчивость комплексов не изменяется в гомологическом ряду алифатического диамина. Методом синхронного термического анализа установлено, что процесс термодеструкции комплексов происходит трехступенчато. Потеря массы составляет 92,3%.

Катализическая активность катализаторов оценивалась в процессе окисления CO в  $\text{CO}_2$ . Температура начала катализа с Ni(II) составляет 203°C, с Co(II) составляет 154°C, а 100% конверсия CO достигается с Ni(II) при 401°C, с Co(II) при 256°C. Выявлено, что производительность синтезированных катализаторов, которые имеют в своём составе полимерную составляющую, в 2.8 раз больше для Ni(II) и в 4,3 раза больше для Co(II), чем у катализаторов сравнения.

### Список литературы:

- [1]. Lipin V.A., Sustavova T.A., Gorkina T.E. Fibre Chemistry **53**, 73–75. (2021).
- [2]. RU 2714670 П, 2020.
- [3]. Липин В.А., Пошивина Т.А., Федорова К.А., Фадин А.Ф., Мальцева Н.В., Вишневская Т.А. Высокомолекулярные соединения (серия Б) **65**, 230-240 (2023).

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АРХИТЕКТУРЫ  
БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ КАПРОЛАКТОНА И ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ  
НА ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО КОМПЛЕКСА Ir(III),  
ВНЕДРЕННОГО В ИХ МИЦЕЛЛЫ**

Калинин Н.С.<sup>1</sup>, Губарев А.С.<sup>2</sup>, Михайлова М.Е.<sup>2</sup>, Власов П.С.<sup>2</sup>, Цветков Н.В.<sup>2</sup>,  
Челушкин П.С.<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,  
г. Санкт-Петербург*

*<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Физический факультет, г.  
Санкт-Петербург  
st086366@student.spbu.ru*

Полимерные мицеллы на основе амфи菲尔ных блок-сополимеров, способных к агрегации в селективном для одного из блоков растворителе, хорошо известны в качестве эффективных наноконтейнеров для транспортировки различных гидрофобных или токсичных соединений. Помимо доставки лекарственных препаратов эти системы перспективны для создания кислородных биосенсоров на основе люминесцентных комплексов переходных металлов, чья эмиссия тушится в присутствии молекулярного кислорода. Это позволяет проводить количественную оценку его парциального давления в клетках и тканях с использованием технологии PLIM, регистрирующей времена жизни фосфоресценции [1].

На данный момент исследований влияния архитектуры используемых сополимеров и мицелл на их основе на фотофизику внедренных в них люминесцентных металлокомплексов практически нет. Размер и морфология мицелл могут оказать значительное влияние на фотофизические характеристики люминофора, изменив распределение его молекул внутри агрегата, что приведет к их различной чувствительности к кислороду и, как следствие, неоднозначности полученных данных о временах жизни фосфоресценции. Варьирование длин и отношения масс блоков в сополимере, а также использование триблок-сополимеров вместо диллок-сополимеров может позволить оптимизировать фотофизические характеристики биосенсора.

В рамках работы был синтезирован ряд блок-сополимеров со структурами PCL-*b*-PEG и PCL-*b*-PEG-*b*-PCL и различными длинами блоков, из которых были синтезированы полимерные мицеллы, загруженные люминесцентным комплексом Ir(III). Методами вискозиметрии, аналитического ультрацентрифугирования и динамического рассеяния света были исследованы гидродинамические характеристики исходных гомополимеров этиленгликоля, синтезированных блок-сополимеров и мицелл. Был проведен первичный анализ времен жизни комплекса Ir(III) в мицеллах из блок-сополимеров с различной структурой.

**Список литературы:**

- [1] Elistratova A.A., Kritchenkov I.S., Lezov A.A., Gubarev A.S., Solomatina A.I., Kachkin D.V., Shcherbina N.A., Liao Y.-C., Liu Y.-C., Yang Y.-Y., Tsvetkov N.V., Chelushkin P.S., Chou P.-T., Tunik, S.P. European Polymer Journal **159**, 110761 (2021).

**ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОНОМЕРА В  
СТОМАТОЛОГИЧЕСКОМ АДГЕЗИВЕ НА ХИМИЧЕСКУЮ  
АДГЕЗИЮ К ДЕНТИНУ**

Шапиро И.Д., Плюснина И.О., Шапагин А.В.

*ИФХЭ РАН, Россия 119071, г. Москва  
animaShir@yandex.ru*

В случае проявления заражения на поверхности эмали стоматолог удаляет дефектный слой с последующей постановкой восстановительного композиционного материала (КМ). При связывании КМ с дентином возникает рядсложнностей, вызванных высоким содержанием в материале гидрофильных компонентов, а также неоднородной структурой дентина – чем ближе к пульпе производится лечение, тем хаотичнее располагаются дентинные канальцы. Дополнительные сложности вносит возникающий при инструментальном вмешательстве смазанный слой, закупоривающий дентинные канальцы, что препятствует прониканию в них адгезива. Смазанный слой содержит и микробные остатки, способные вызвать повторное заражение.

Адгезионная стоматологическая система повышает силу сцепления между твёрдой тканью зуба и пломбой, обеспечивает надёжность краевого прилегания, а также снижает постоперационную чувствительность и препятствует прониканию микроорганизмов. Адгезионная система сочетает в себе как гидрофильные, так и гидрофобные компоненты. Гидрофильные – позволяют адгезиву равномерно растечься на влажном дентине и проникнуть в дентинные канальцы, образовывая с коллагеновыми волокнами химическую связь. Гидрофобные – придают адгезиву сродство с композитом. Адгезионная прочность в системе адгезив – дентин существенно зависит от проникновения адгезива в дентинные канальцы и удержания в них. В этой связи адгезионные системы модифицируют функциональными добавками использование которых позволяет реализовать не только механический, но и химический механизм адгезионных взаимодействий.

Цель исследования – оценка влияния наличия и типа функционального мономера в адгезионной системе на прочность соединения дентин – адгезив – КМ. Для исследования были подготовлены адгезионные системы, различные по типу функционального мономера: без мономера, с 10-MDP (10-метакрилоилоксидецилдигидрофосфат) и с GPDM (глицерилфосфат диметакрилат). Нанесение адгезивов проводили в соответствии с инструкцией для адгезионных систем V поколения, фотополимеризацию осуществляли LED-лампой с длиной волны 420–480 нм.

Проникающую способность адгезионных систем исследовали методом сканирующей электронной микроскопии JEOL JSM-6060A (Япония). Прочность адгезионного соединения дентин – адгезив – КМ определяли по ГОСТ Р 59423-2021 на разрывной машине Zwick/Roell Z010 (Германия).

**Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.*

**КОМПЛЕКСЫ ПОЛИАНИЛИНА С ПОЛИСУЛЬФОКИСЛОТАМИ  
КАК ДЫРОЧНО-ТРАНСПОРТНЫЕ СЛОИ ДЛЯ ПЕРОВСКИТНЫХ  
ДИОДНЫХ УСТРОЙСТВ**

Кабанова В.А., Грибкова О.Л., Родина Е.И., Тамеев А.Р.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук,  
г. Москва*  
*KabanovaVar@gmail.com*

Полианилин (ПАНИ) является одним из наиболее перспективных проводящих полимеров, благодаря высокой проводимости, стабильности, так же простотой синтеза и доступностью сырья. Проблему плохой растворимости ПАНИ можно решить, осуществляя его синтез в присутствии полимерных кислот. В данной работе методом окислительной полимеризации анилина были синтезированы комплексы ПАНИ с полимерными сульфокислотами различной структуры и жесткости цепи. Среди них гибкоцепные поликислоты: поли-2-акриламидо-2-метилпропансульфоновая кислота (ПАМПСК) и полистиролсульфокислота (ПССК) и жесткоцепные: поли-4,4'-(2,2'-дисульфокислота) дифенилентерефталамид (тере-ПАСК) и поли-4,4'-(2,2'-дисульфокислота) дифениленизофталамид (изо-ПАСК). Показано, что структура поликислоты оказывают влияние как на ход синтеза, так и на структуру, свойства и морфологию полученных слоёв полимерных комплексов.

Слои комплексов ПАНИ, полученные масштабируемым методом пульверизации, были использованы в качестве дырочно-транспортных слоев (ДТС) в перовскитных солнечных элементах (ПСЭ). В качестве фотоактивного слоя ПСЭ выступало металлоорганическое соединение  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  перовскитной структуры. Было изучено влияние состава комплекса полимер-полисульфокислота на характеристики устройства. Наилучшие вольтамперные характеристики продемонстрировали ПСЭ со слоями комплекса ПАНИ-ПАМПСК. Они были протестированы в ПСЭ с фотоактивными слоями  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  с частичным замещением Pb на Ag и Zn. Результаты исследования показали, что модификация перовскитов  $\text{MAPbI}_3$  путем частичной замены свинца может быть использована для управления подвижностью носителей зарядов, морфологией, и их фотовольтаическими свойствами.

**Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект № 23-19-00884, приготовление и исследование диодных структур) и в рамках государственного задания "Физико-химические основы создания новых перспективных материалов" рег.№ 125012200626-9 (синтез комплексов и перовскитов).*

## 2-О-12

### СОЗДАНИЕ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПОЛИНОРБОРНЕОВ С ТРИЭТИЛЕНГЛИКОЛЕВЫМИ ФРАГМЕНТАМИ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ CO<sub>2</sub>

Садыкова Д.А.<sup>1,2</sup>, Алентьев Д.А.<sup>1,2</sup>, Никифоров Р.Ю.<sup>1</sup>, Бермешев М.В.<sup>1</sup>,  
Алентьев А.Ю.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтехимического синтеза имени А.В. Топчиеva РАН

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”  
*sad@ips.ac.ru*

Актуальной задачей современной мембранный технологии является разработка материалов с высокой селективностью для разделения газовых смесей, содержащих CO<sub>2</sub>. Такие материалы востребованы для процессов очистки природного газа от “кислых газов”, улавливания CO<sub>2</sub> из дымовых газов и других промышленных применений. Перспективным направлением является синтез полимеров, содержащих олигоэтиленгликоловые фрагменты, так как за счёт содержания в них большого числа C-O групп, они способны к диполь-квадрупольному взаимодействию с молекулами CO<sub>2</sub>. Это взаимодействие способствует высокой проницаемости и селективности по паре газов, содержащих CO<sub>2</sub>.

В данной работе представлен синтез нового мономера и его метатизная полимеризация. Получен сложный эфир 5-норборнен-2-карбоновой кислоты с монометиловым эфиром триэтиленгликоля методом этерификации норборненкарбоновой кислоты с монометиловым эфиром триэтиленгликоля. Выбор этого подхода обусловлен его простотой и эффективностью, а также возможностью минимизировать количество стадий синтеза. В результате реакции полимеризации был получен полимер (рис.1), обладающий достаточной для получения плёнки молекулярной массой (1100 кДа).

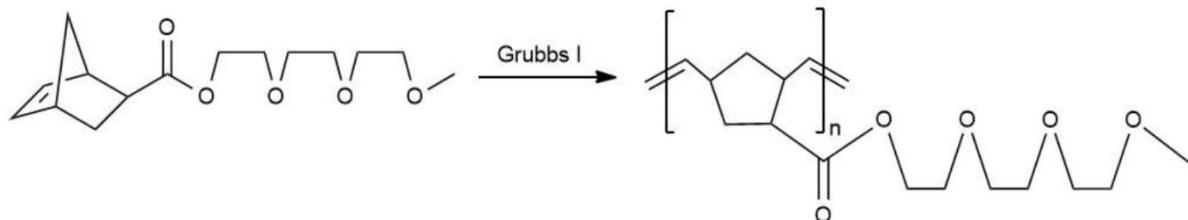


Рис. 1 - Схема синтеза гомополимера на основе норборнена с триэтиленгликоловыми фрагментами.

Было проведено исследование газотранспортных свойств полученного полимера для 14 газов. Для постоянных газов диапазон коэффициентов проницаемости составил 5–300 Баррер. Для некоторых из этих газов было обнаружено специфическое взаимодействие с полимерной матрицей. Параметры полимера расположены выше верхней границы 2008 года диаграммы Робсона для пары газов CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>. Поэтому такой полимер представляет интерес для создания мембран, предназначенных для извлечения CO<sub>2</sub> из природных и промышленных газовых потоков.

#### Благодарности

Исследование выполнено в рамках Госзадания ИНХС РАН.

## 2-О-13

### ГИДРОФОБНОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ ГЛИЦИДИЛАКРИЛАТА

Федорова С.В.<sup>1</sup>, Петрова Ю.А.<sup>1</sup>Липин В.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна,  
г. Санкт-Петербург  
yulia.petrova1997@yandex.ru*

Для защиты поверхности изделий от повреждений, включая коррозию и разрушения в агрессивных средах, используются различные покрытия. Ключевым требованием к таким покрытиям является создание эффективного физического барьера, предотвращающего контакт агрессивных веществ с поверхностью и, тем самым, защищающего ее от любых повреждений [1].

Поверхности подвергаются воздействию целым рядом факторов включая механические, химические и микробиологические во время эксплуатации. Полимеры являются наиболее подходящим материалом, способным в наибольшей степени препятствовать указанным факторам в широком диапазоне pH и, кроме того, в минимальной степени воздействовать на окружающую среду при контакте с ней. Гибкость полимеров позволяет их смешивать с другими соединениями и добавками для улучшения эксплуатационных характеристик, ограничивая проникновение химических веществ и микроорганизмов, образуя поверхностную пленку [2].

Целью работы является получение полимерных гидрофобных покрытий на основе глицидилакрилата и этилендиамина и исследование их свойств.

Глицидилакрилат (ГА) получали взаимодействием акриловой кислоты (АК) и эпихлоргидрина (ЭХГ) при мольном соотношении 1:1 при температуре 75-80°C в течение 3 часов. Покрытие получали взаимодействием ГА и этилендиамина (ЭДА) при различном соотношении исходных компонентов в среде диметилформамида при 70°C в течение 3 ч [3]. Было установлено, что оптимальное соотношение исходных компонентов ЭДА и ГА составляет 0,036:1.

Показано, что полученное покрытие не чувствительно к изменениям pH среды в диапазоне 5-11, однако в сильнокислой среде происходит его частичное набухание, что связано с гидрофилизацией поверхности. Установлено, что полученное покрытие не взаимодействуют с органическими растворителями, имеет однородную морфологию, непористую поверхность и высокую устойчивость к термоокислительной деструкции.

#### Список литературы:

- [1] Alia C., Biezma M.V., Pinilla P., Arenas J.M., Suarez J.C. Advances in Materials Science and Engineering **6**, 213-223 (2013).
- [2] Ulaeto S.B., Ravi R.P., Udoh I.I., Mathew G.M., Rajan T.P.D. Corros. Mater. Degrad. **4**, 284–316 (2023).
- [3] Евдокимов А.Н., Курзин А.В., Липин В.А. Петрова Ю.А. Бутлеров. сооб. **76**, № 12, 167. EDN: ZODHMO (2023).

## МЕХАНИКА САМОЗАЖИВЛЕНИЯ ОКСИМ-ПОЛИУРЕТАНА ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО СЫРЬЯ

Коновалов Д.С.<sup>1</sup>, Зуев В.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
dimannorm610@yandex.ru*

Целью работы являлась направленная модификация структуры полимерной матрицы полиуретана с использованием био-сырья путем введения динамических ковалентных оксимовых связей для придания материалам способности к самозалечиванию.

Установлено, что варырование природы полиолов, способов синтеза и последовательности введения оксимовых функциональных групп приводит к формированию специфической надмолекулярной структуры полимера. Разработан метод синтеза без применения растворителей для получения полиуретанов со способностью к самозалечиванию с уровнем восстановления механических свойств до 95 % в течение одного часа.

Полученные образцы были исследованы набором физико-механических методов для выявления механизма самозалечивания, исследование механических и реологических характеристик с одновременным мониторингом структурных изменений методом ИК-Фурье спектроскопии. Показано, что при изменении составов полиуретанов можно добиться высокой эффективности самозалечивания при температуре 50 °C (Рисунок 1).

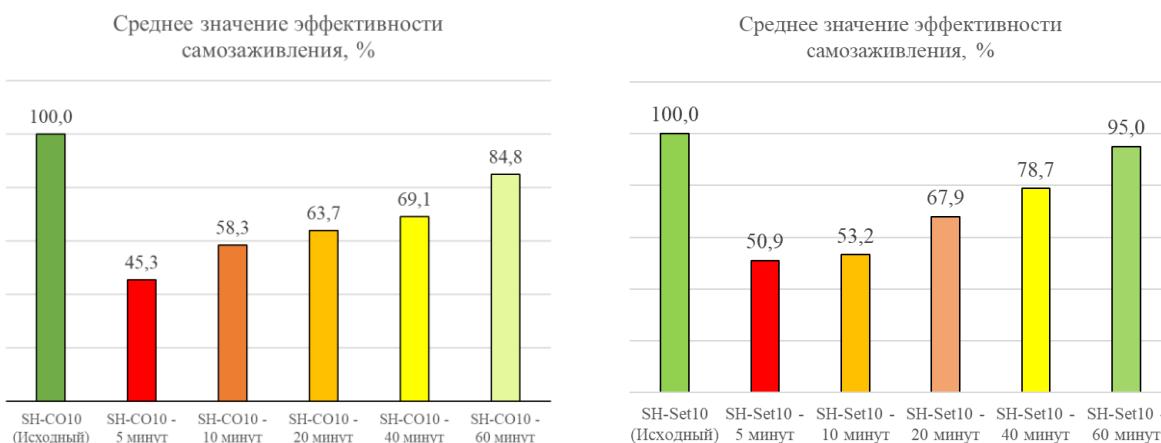


Рис. 1 - Эффективность самозалечивания полиуретанов на основе касторового и этоксилированного касторового масла в зависимости от времени при температуре 50 °C.

**ВЛИЯНИЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА НА  
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕНЕГТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРА  
ВИНИЛИДЕНФТОРИДА С ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНОМ**

Бурьянская Е.Л., Кондрашов С.В., Симонов А.Д., Осипков А.С., Макеев М.О.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э.*

*Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва*

*buryanskayael@bmstu.ru*

Сегнетоэлектрические полимеры на основе винилденфторида (ВДФ) находят всё более широкое применение в науке и технике благодаря относительно высоким значениям пиро- и пьезоотклика, химической стойкости, биосовместимости, механической и технологической гибкости, высокой ударной вязкости и прозрачности. Поскольку сopolимеры ВДФ являются полукристаллическими полимерами, обработка материала термическим отжигом является важным процессом в технологии получения материала, способствующим повышению кристалличности и сегнетоэлектрической фазы.

Исследуемые пленки были подвергнуты одноосной ориентационной вытяжке при температуре 25 °C, кратность вытяжки составила 300%. Ориентированные пленки поляризованы контактным методом при комнатной температуре. Проведено сравнение электрофизических свойств пленок до и после изотермического отжига (80°C, 1 час) ниже температуры Кюри. Изменения структуры и фазового состава контролировались с помощью инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье и дифференциально сканирующей калориметрии. Величина продольного пьезокоэффициента  $d_{33}$  измерялась квазистатическим методом Берлинкура. Величина электрической прочности рассчитана с использованием двухпараметрической модели Вейбулла. В режиме силовой микроскопии пьезоэлектрического отклика (СМП) исследована доменная структура пленок (рис.1).

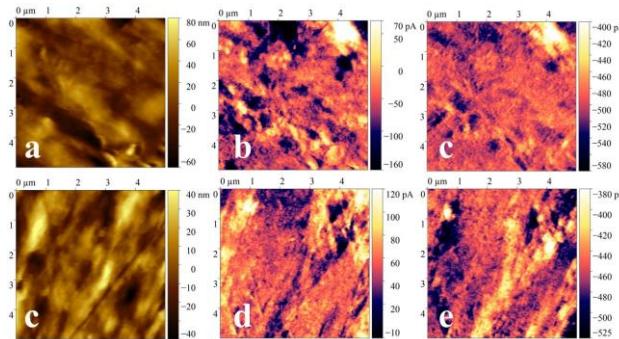


Рис. 1 – Данные СМП, где а и с – топографии поверхности пленки о, б и д – сигналы вертикального пьезоотклика, с и е – сигналы латерального пьезоотклика до и после отжига соответственно

#### Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (шифр темы FSFN-2024-0014).

## **СЕКЦИЯ 2**

# ***ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ И ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ***

**СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СМЕСЕЙ  
ПОЛИИМИДОВ: ЭКСПЕРИМЕНТ И АТОМИСТИЧЕСКОЕ  
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Быкова Е.Н., Назарычев В.М., Гофман И.В., Диденко А.Ю., Камалов А.М.,  
Абалов И.В., Иванова А.С.

*<sup>1</sup>Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константина  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
bykova.elena.n@gmail.com*

В работе представлены результаты комплексного исследования пленок смесей полиимидов (ПИ) поли[4,4'-бис-(4"-N-фенокси)дифенилсульфон]имида 1,3-бис-(3',4-дикарбоксифенокси)бензола (Р-СОД) и поли(4,4'-оксидифенилен)пиromеллитимида (ПМ) в соотношении 50:50, полученных при различных температурах имидизации (300-360°C).

Эксплуатационные свойства пленок ПИ и их смесей изучали методами ИК-спектроскопии, механического, термомеханического (ТМА) и динамического механического анализа (DMA). Полученные экспериментальные данные были сопоставлены с результатами моделирования методом атомистической молекулярной динамики (МД) для соответствующих составов ПИ. Гидролитическую стабильность (ГС) ПИ и их смесей оценивали по изменению толщины, массы и механических характеристик пленок после выдержки в 30 % водном растворе NaOH.

Результаты исследования показали наличие корреляции между температурой имидизации и функциональными характеристиками смесей ПМ/Р-СОД. Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с результатами МД, что подтверждает корректность разработанных компьютерных моделей ПИ для прогнозирования свойств полимерных композиций.

Согласно полученным данным, наиболее оптимальное сочетание эксплуатационных характеристик достигалось для смесей, подвергнутых имидизации при 330-360 °C. Полученные композиции демонстрировали значительное улучшение теплостойкости по сравнению с Р-СОД – температура стеклования повышалась более чем на 65°C. Кроме того, полученные смеси, хотя и характеризовались пониженной ГС по сравнению с Р-СОД, всё же существенно превосходили по этому показателю ПМ. Так, например, если пленка исходного ПМ после 25-30 ч гидролиза при извлечении из щелочного раствора постепенно растворялась в процессе длительного пребывания в воде (при отмыке от щелочи), то все пленочные образцы смеси в аналогичных условиях сохраняли целостность и удовлетворительные механические характеристики даже после 70 ч гидролиза.

**Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (Соглашение № 24-73-10216, <https://rscf.ru/project/24-73-10216/>).*

**ДИНАМИКА МАКРОМОЛЕКУЛ И ЕЕ РОЛЬ В ПОЛИМОРФНОМ  
ПЕРЕХОДЕ В ПЛЕНКАХ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА ПРИ ИХ  
РАСТЯЖЕНИИ**

Герасимов Д.И., Курындина И.С., Бронников С.В.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константина» –  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
dmitrygerasimov1997@gmail.com*

Поливинилиденфторид (ПВДФ) вызывает интерес благодаря возможности реализации выраженных пьезоэлектрических свойств и широкому применению в материалов на его основе в устройствах по накоплению и преобразованию энергии и в качестве пьезодатчиков. Кристаллическая структура ПВДФ в основном представлена неполярной  $\alpha$ -фазой и полярной, обуславливающей его пьезоотклик,  $\beta$ -фазой. Полиморфный  $\alpha$ - $\beta$  переход может быть инициирован одноосным растяжением.

В данной работе пленки ПВДФ с различной степенью ориентации (кратность фильтрной вытяжки от  $\lambda=15$  до  $\lambda=76$ ) были получены экструзией расплава промышленной марки ПВДФ (Kynar-720) с последующим отжигом при 170 °C. Показано, что их кристаллическая структура представлена только неполярной  $\alpha$ -фазой. При одноосном растяжении отожженных пленок наблюдали образование пористой структуры, и происходило формирование полярной  $\beta$ -фазы.

Установлено, что в пленках, полученных при низких  $\lambda$ , при их растяжении превалируют процессы  $\alpha$ - $\beta$  перехода над формированием пористой структуры. В то же время в образцах, полученных при высоких  $\lambda$ , эффективно формируется пористая структура и слабо выражен полиморфный переход.

Методом динамического механического анализа были исследованы релаксационные процессы в полученных образцах. Обнаружено, что интенсивность  $\alpha_c$ -релаксации, обусловленной подвижностью макромолекул на границе кристаллит – аморфная фаза, в отожженных пленках зависит от их исходной степени ориентации. Это связано с тем, что более упорядоченная структура как кристаллической, так и аморфной части ПВДФ сильно ограничивает подвижность молекулярных цепей в  $\alpha$ -фазе и приводит к снижению интенсивности  $\alpha_c$ -релаксации. С повышением степени ориентации затрудняется разворачивание и перестройка цепей макромолекул, что приводит к неэффективному протеканию полиморфного  $\alpha$ - $\beta$  перехода.

Таким образом, динамика макромолекул на границе кристаллит – аморфная фаза определяет последующую эффективность полиморфного  $\alpha$ - $\beta$  перехода при одноосном растяжении пленок ПВДФ.

**Благодарности**

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» (№ 124013000728-0)

## 2-Р-03

# СВОЙСТВА МАКРОМОЛЕКУЛ КАРБОКСИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА ХИТИН/ХИТОЗАНА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Гостева А.А., Доммес О.А., Окатова О.В., Павлов Г.М.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
anna.gosteva.imc@gmail.com*

Хитин является одним из самых распространённых биополимеров. Однако он практически нерастворим в водных растворах. Для получения растворимых производных хитин должен быть химически модифицирован.

В работе исследуются гидродинамические и конформационные свойства карбоксиметилового эфира хитин/хитозана (КМХ)  $C_6H_7O_2(OH)_{2-x}(OCH_2COONa)_x(NHCOCN_3)_{1-z}(NH_2)_z$ , которые были получены путем алкилирования хитина, полученного из панцирей крабов и криля. Исследования проводились в разбавленных водных и водно-солевых растворах гидродинамическими методами (скоростная седиментация, поступательная диффузия и вискозиметрия). Молекулярные массы определены методом седиментационно-диффузионного анализа в 0.2 М NaCl. Длина сегмента Куна А оценена с помощью программы Multi-HYDFIT. Для оценки жесткости макромолекул в бессолевых растворах была применена теория Ямакавы и Фуджи. Впервые показано, что цепи КМХ ( $40 \leq M \times 10^{-3}$  г/моль  $\leq 157$ ) в бессолевых растворах ведут себя как чрезвычайно короткие персистентные цепи.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность д.х.н. Вихоревой Г.В. (Московский государственный текстильный университет имени А. Н. Косыгина) за предоставление образцов полимеров КМХ.

*Работа выполнена в рамках государственного задания № 1023031700046-9-1.4.4.*

**ВЗАИМОСВЯЗЬ МОЛЕКУЛЯРНЫХ И РАЗМЕРНЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫХ  
ИМИНОКОМПЛЕКСОВ ВАНАДИЯ (IV) С ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМ  
КАЧЕСТВОМ СИСТЕМЫ**

Безрукова М.А., Киппер А.И., Дубров Е.Н., Иванов А.Г.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» -  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург*

Ванадий — микроэлемент, участвующий в регуляции углеводного и жирового обмена. Его соединения снижают инсулинерезистентность, что делает их перспективными для лечения диабета 2 типа. Соединения ванадия (IV) обладают меньшей токсичностью и выраженным гипогликемическим эффектом, но имеют низкую биодоступность. Полимерные носители могут улучшить контроль высвобождения ионов ванадия. В работе получены pH-чувствительные металло-полимерные комплексы ванадия с производными сополимера винилпирролидона с виниламином модифицированного салициловым, николиновым альдегидами и витамином В6.

Методами молекулярной гидродинамики и светорассеяния определены молекулярные массы, гидродинамические размеры ( $R_h$ ) и значения вторых вириальных коэффициентов ( $A_2$ ) исходных, модифицированных сополимеров и их комплексов с ванадием в водно-солевом растворителе (0.1 M NaCl) в десятикратном интервале молекулярных масс. Для сополимеров с ММ, превышающей 40000, формирование комплексов с ванадием при сохраняющемся молекулярном весе сопровождалось уменьшением размеров молекулярных клубков за счет возникающих внутримолекулярных взаимодействий, что отражалось в изменении термодинамического качества системы. Для образцов высокого молекулярного веса при комплексообразовании в растворе, наряду с молекулярно-дисперсной частью, фиксировались крупные частицы, присутствие которых, а также их количественный вклад детектировались по спектрам ДРС распределения по размерам. Для образцов сополимеров с ММ, меньшей 20000, комплексообразование с ванадием происходило за счет межмолекулярного взаимодействия, что подтверждалось (в среднем) удвоением ММ, определенной диффузионно-седиментационным анализом, а также уменьшением размеров макромолекулярного клубка ( $[\eta]$ ) по сравнению с исходным образцом. При этом визуальная прозрачность растворов, отсутствие их опалесценции и седиментационная устойчивость во всем интервале исследованных концентраций подтверждали молекулярную дисперсность растворов металло-полимерных комплексов на основе сополимеров низкого молекулярного веса и коррелировали со значением второго вириального коэффициента ( $A_2$ ), характеризующего термодинамическое качество системы.

## **2-Р-05**

# **СТРУКТУРНО-КОНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МОЛЕКУЛЯРНЫХ ЩЕТОК НА ОСНОВЕ ПОЛИФЛУОРЕНА**

Каскевич К.И., Симонова М.А., Садков Д.Ю., Филиппов А.П., Якиманский А.В.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
kaskevich-ksenia@yandex.ru*

Работа посвящена синтезу и исследованию люминесцирующих амфи菲尔ных молекулярных щеток с основной полифлуореновой цепью (ПФ) и боковыми цепями полиметакриловой кислоты ПМАК (ПФ-ПМАК). Способность таких систем образовывать мицеллы может позволить использовать их в таких направлениях, как доставка лекарств и биовизуализация. Исследуемые полимеры получены в три стадии. На первой синтезирован полифлуореновый макроинициатор (МИ), далее на нем получены щетки с боковыми цепями поли-третбутилметакрилата (ПФ-ПтБМА), а затем целевые щетки с ПФ-ПМАК. Полимеры различались плотностью прививки, длиной основной и боковых цепей и способом получения макроинициаторов. Кроме этого, были исследованы полифлуореновые макроинициаторы и отщепленные боковые цепи поли-третбутилметакрилата. Методами статического, динамического рассеяния света и вискозиметрии установлено влияние плотности прививки и длины основной цепи на поведение амфи菲尔ных молекулярных щеток в органических (этанол, метанол, хлороформ), водных и физиологических растворах, а также при взаимодействии инжектированных мицелл с куркумином. Для определения молекулярно-массовых и гидродинамических характеристик исследований полимеров с сравнительно длинными боковыми цепями полиметакриловой кислоты использован метанол. Установлено, что при высокой плотности прививки ПФ-ПМАК растворяется в метаноле и этаноле молекулярно-дисперсно, и при этом макромолекулы образуют структуру типа ядро (ПФ) – оболочка (ПМАК). Данная конформация сохраняется при инжектировании ПФ-ПМАК в водный раствор.

**НАСТРОЙКА ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ СВЕРХСШИТЫХ  
ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ  
СОРБЦИИ РИФАМПИЦИНА ИЗ ВОДНЫХ СРЕД**

Кириллов А.С., Горшков Н.И., Красиков В.Д.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
a.kirillov2622@gmail.com*

В настоящее время актуальной экологической задачей является очистка сточных вод от различных загрязнителей, и, в частности, антибиотиков, поскольку их присутствие способствует распространению устойчивых к ним бактерий и генов устойчивости, что снижает эффективность лечения инфекций. Кроме того, многие из них, например, рифампицин (РИФ), устойчивы к биодеградации и могут накапливаться в окружающей среде. Одним из наиболее эффективных, дешевых и простых методов удаления антибиотиков из сточных вод является сорбционная очистка. Среди всего многообразия сорбционных материалов особый интерес вызывают сверхсшитые полистирольные сорбенты (СПС), отличающиеся широкими возможностями регулирования их свойств и структурных характеристик. Таким образом, цель работы заключалась в разработке сверхсшитого полистирольного сорбента с оптимальной поровой структурой для эффективной сорбции рифампицина из водных сред.

СПС были получены путем сверхшивки сополимеров стирола с различным содержанием дивинилбензола (ДВБ) (1, 2 и 3 мол. %) с помощьюmonoхлордиметилового эфира. Синтезированные СПС имеют высокую площадь поверхности и различную микро/мезопористую структуру. Установлено, что объем мезопор увеличивается при уменьшении содержания ДВБ в исходном сополимере, при этом объем микропор практически не зависит от содержания ДВБ.

В ходе сорбционных экспериментов установлено, что СПС-1 (1 мол. % ДВБ) имеет самую высокую сорбционную емкость по рифампицину (РИФ) (183 мг/г), поскольку обладает наибольшим объемом мезопор, в которые крупные молекулы РИФ могут дифундировать без стерических затруднений. Сорбционная емкость СПС-1 по отношению к РИФ значительно выше или сопоставима с сорбентами других классов. Эффективность удаления РИФ из его водного раствора с помощью СПС-1 (99.8 %) значительно превышает значения для исследованных коммерческих СПС. После 5 циклов сорбции-десорбции РИФ емкость СПС-1 снизилась всего на 7%, что свидетельствует о его достаточной стабильности и возможности многократного использования.

Полученные результаты показывают, что СПС с низким содержанием ДВБ могут рассматриваться как перспективные сорбционные материалы для очистки сточных вод от РИФ или других крупных органических соединений.

**Благодарности**

*Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ  
«Курчатовский институт» (тема № 1023031700036-2-1.4.4).*

## **ПОЛИМЕРНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ОРГАНИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В ВОДЕ**

Киселева Е.И., Фетин П.А., Зорин И.М.

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*  
*St097957@student.spbu.ru*

До недавнего времени считалось, что следует избегать присутствия воды во многих органических реакциях. Исторически парадигма, что «подобное растворяется в подобном», подразумевающая, что растворение является предпосылкой для высокой конверсии реакции, привела к очевидному выводу, что вода не является подходящим растворителем для органических веществ. Таким образом, органические растворители всегда были нормой, и большинство последующих разработок были сделаны с учетом этого. Однако многие из этих растворителей токсичны, могут нанести вред здоровью человека и окружающей среде, а также послужить причиной взрыва или пожара на производстве. Поэтому правила в отношении производства и использования органических растворителей становятся все более строгими, заставляя химиков искать более экологичные и безопасные альтернативные варианты. Вода представляет собой безопасную, нетоксичную, дешевую и экологически чистую альтернативу. В конце XX века было доказано, что большое количество органических реакций протекает в водных средах, иногда с заметными улучшениями. Из-за этого сейчас популярность набирают исследования органических реакций в воде с использованием различных катализаторов, в том числе полимерных.

Цель данной работы заключалась в изучении катализитических систем на основе полиэлектролитов, применимых для проведения реакций с использованием воды в качестве основного растворителя, а также рассмотрении способов создания новых органических веществ с помощью воды на примере реакции Сузуки. В ходе работы был проведен синтез полимера pMAUTA-Br, способного выступать в роли со-катализатора в реакции Сузуки, и изучены его характеристики, такие как солюбилизационная емкость и катализическая активность.

### **Список литературы:**

- [1] Lipshutz B.H. et al. Org Lett. **10**, 1325 (2008).
- [2] Lorenzetto T. et al. Catalysis Science and Technology. **10**, 4492 (2020).

### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 24-73-00193)).*

*Авторы благодарны ресурсному центру «Магнитно-резонансные методы исследования» СПбГУ.*

**РАДИАЦИОННАЯ МОДИФИКАЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ  
ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО УЛУЧШЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И  
МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОЛОКОН ИЗ  
ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА**

**Костерова О.<sup>1,2</sup>, Лютова Ж.Б.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет), Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup> *Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константина НИЦ  
«Курчатовский институт», Гатчина, Россия  
olga.kosterova2003@gmail.com*

Углеродное волокно (УВ) – одно из ключевых продуктов современной химической промышленности, обладающее практически неограниченными возможностями применения. Благодаря своей легкости и прочности УВ используют в медицине, аэрокосмической отрасли, оборонной и автомобильной промышленностях [1].

Ранее было установлено, что электронно-лучевая обработка (ЭЛО) волокон полиакрилонитрила (ПАН) может сократить периоды последовательных стадий производства УВ, а также улучшить качество конечного продукта. [2]. Данное исследование направлено на изучение физико-химических, структурных и термических свойств ПАН-волокна, подвергнутого электронно-лучевой обработке. Образцы промышленного филамента ПАН-волокна были предоставлены компанией «ЮМАТЕКС» (ГК «Росатом»), облучение в диапазоне доз 0,1–0,7 МГр выполнено компанией «Акцентр Групп» (ГК «Росатом»).

Для оценки радиационно-химических преобразований в структуре волокон ПАН использовались методы химического, термического анализа, УФ- и ИК-спектрометрии, для исследования физических характеристик были проведены механические испытания.

В ходе исследования было выявлено электронно-лучевое инициирование свободнорадикальных процессов в полимере, подтверждающееся трансформацией нитрильных групп ( $C\equiv N$ ) в группы типа  $C=N$  (УФ- и ИК-спектроскопия), приводящее к сшивке цепей (по данным гель-фракции), образованию циклических структур и повышению механических характеристик волокна.

Таким образом, радиационная модификация представляет собой эффективный инструмент улучшения свойств ПАН-волокон, позволяющий целенаправленно изменять структуру полимера на молекулярном уровне.

**Список литературы:**

- [1] Peijs T., Kirschbaum R., Lemstra P. J. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research. 2022. № 2 (5). С. 90–106.  
[2] Liu W. [и др.]. Radiation Physics and Chemistry. 2012. № 6 (81).

# МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГИДРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛАМИДА С ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫМИ МОНОМЕРАМИ

Минов А.Е., Фетин П.А., Зорин И.М.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург  
St106297@student.spbu.ru

Сорбционная очистка является одним из самых распространённых и доступных методов удаления различных загрязнителей из воды перед её дальнейшим потреблением. Материалами, способными выступать в качестве эффективных сорбентов, являются акриламидные гидрогели, находящие применение в качестве влагопоглотителей в быту и сельском хозяйстве.

В рамках проводимой работы получен ряд гидрогелей на основе сополимера акриламида и поверхностно-активного мономера бромида N-акрилоилоксиундекилметилморфолина (AUMM-Br). Данный состав способствует солюбилизации малополярных компонентов раствора в гель, позволяя ему выступать в качестве абсорбента.

Были проведены испытания сорбционных свойств данных гелей на ряде модельных красителей: малахитовом зелёном (катионный,) конго красном (анионный) и рифампицине (нейлоногенный). Во всех случаях они показали эффективность модифицированных AUMM-Br гелей в сравнении с не модифицированным акриламидным гелем, удаляя до 99,7% загрязнителя и обладая в 10-ть раз большей удельной абсорбционной ёмкостью.

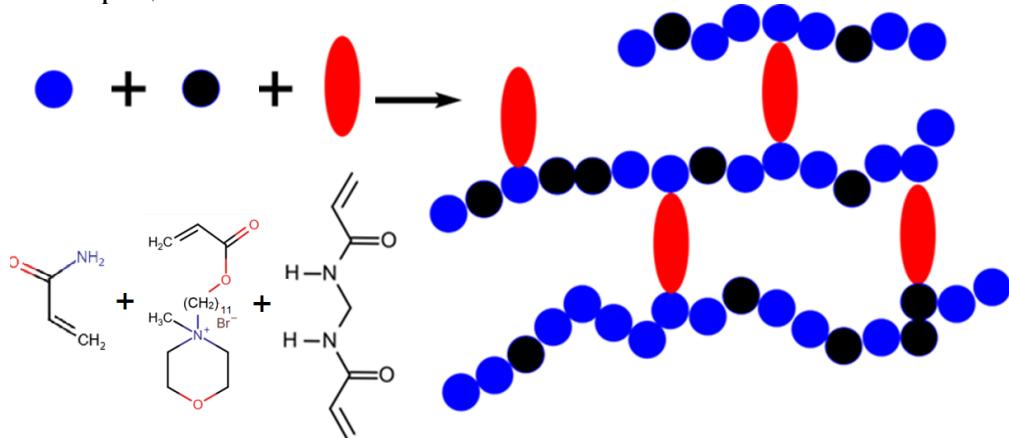


Рис.1 – Схема сшивки модифицированного геля

## Список литературы:

- [1] Бугрин В.С. Межмолекулярные взаимодействия, определяющие солюбилизацию в мицеллах полиалкиленоксидных поверхностно-активных веществ, Высокомолекулярные соединения, том 49, с. 701-712 (2007).

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 24-73-00193)).

Авторы благодарны ресурсным центрам СПбГУ: криогенный отдел. магнитно-резонансные методы исследования вещества.

## 2-Р-10

# МИЦЕЛЛЯРНЫЙ КАТАЛИЗ В ПРИСУТСТВИИ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ И ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ПАВ

Перун А.В., Фетин П.А., Зорин И.М.

Институт Химии, Санкт-Петербургский государственный университет,  
г. Санкт-Петербург  
st116677@student.spbu.ru

ПАВ известны благодаря одному из своих свойств — образовывать мицеллы при концентрациях выше критической концентрации мицеллообразования (ККМ). Важным для данной работы является представление мицеллы как некого нанореактора для реакций между водно-нерасторимыми веществами в водной среде.

Были продемонстрированы различия в кинетике двух реакций — реакции Сузуки и реакции щелочного гидролиза гидрофобных сложных эфиров — между низкомолекулярным (СТАВ) и высокомолекулярным (pAUTA-Br) ПАВ.

В реакции гидролиза были изучены константы скорости реакции: общая константа скорости реакции, константа скорости реакции в водной фазе, константа скорости реакции в мицеллярной фазе и константа солюбилизации, отвечающая за распределение субстрата между мицеллярной и водной фазами. Также была проведена корреляция между константой солюбилизации и одним из свойств ПАВ — солюбилизационной ёмкостью.

В реакции Сузуки была изучена зависимость конверсии от времени проведения реакции.

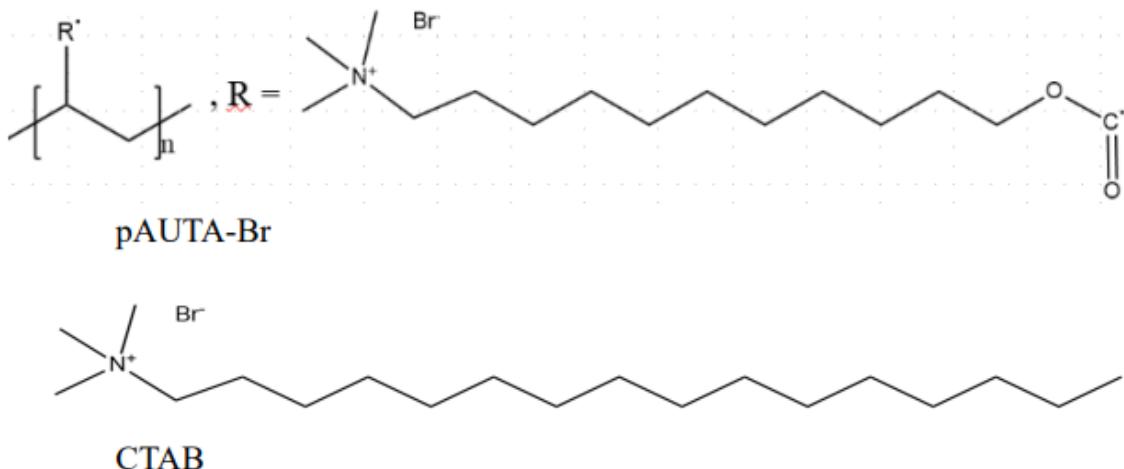


Рис. 1 — Структуры использованных ПАВ.

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 24-73-000193).

Авторы благодарны ресурсному центру «Магнитно-резонансные методы исследования» СПбГУ.

## 2-Р-11

# ИЗОТЕРМЫ СОРБЦИИ КАНАМИЦИНА А МОЛЕКУЛЯРНО ИМПРИНТИРОВАННЫМ И НЕИМПРИНТИРОВАННЫМ ПОЛИМЕРАМИ С РАЗЛИЧНЫМ РАЗМЕРОМ ГРАНУЛ

Плющенко А.В., Травин И.В., Гаркушина И.С.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
plyushchenko\_av@rpri.nrcki.ru*

Аминогликозидный антибиотик широкого спектра действия канамицин А является важным лекарственным препаратом, который применяется при лечении различных гнойно-септических и инфекционно-воспалительных заболеваний. Производство канамицина осуществляется путем микробиологического синтеза с помощью лучистого гриба *Streptomyces kanamyceticus* с последующим многоэтапным извлечением целевого компонента. Селективное извлечение субстанции канамицина из многокомпонентных смесей с использованием селективных сорбентов позволит снизить количество стадий производства и, соответственно, его стоимость. Целью исследования являлся сравнительный анализ изотерм сорбции канамицина молекулярно импринтированным полимером (МИП) с размерами гранул 0.4-0.63 мм и 0.8-1.25 мм в сравнении с контрольным полимером.

Изотермы сорбции были получены для систем жидкость-твердое тело при комнатной температуре. В качестве твердой фазы были использованы МИП и контрольный сополимеры поли(2-гидроксиэтилметакрилат-со-этиленгликоль диметакрилат). Сорбционные центры МИП были созданы методом нековалентного молекулярного импринтинга путем введения в состав предполимеризационной смеси метакриловой кислоты в составе предварительно полученного предполимеризационного комплекса 6 мол.% метакрилата канамицина. Синтез матрицы был осуществлен свободно радикальной эмульсионной полимеризацией в эмульсии Пикеринга масло/вода, стабилизированной наночастицами селена.

Показана одинаковая эффективность сорбции канамицина на МИП и КП в водной среде. Выявлена полислойная мономолекулярная адсорбция канамицина на МИП в присутствии буфера трис(гидроксиметил)аминометана, в то время как на КП – монослойная мономолекулярная адсорбция.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ  
ПОЛИАМИДОКИСЛОТ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЧАСТИЧНО-  
КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПЛАВКОГО ПОЛИИМИДА**

Поляков И.В., Садков Д.Ю., Симонова М.А., Ваганов Г.В., Диценко А.Л.,  
Попова Е.Н., Елоховский В.Ю.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
polyakov-iv@yandex.ru*

Благодаря своей исключительной термостойкости, превосходным механическим и электрическим свойствам, а также высокой химической стойкости, ароматические полииимида (ПИ) являются идеальным выбором для применения в самых требовательных областях промышленности. Уникальные характеристики ПИ позволяют использовать их для производства широкого спектра материалов, от пленок и покрытий до связующих для композиционных материалов. Кроме того, некоторые ПИ могут быть переработаны в термостойкие прочные волокна. Особое внимание уделяется разработке волокон на основе частично-кристаллических, термопластичных полииимидов, которые можно перерабатывать из расплава. При разработке таких ПИ волокон важной характеристикой полимера является молекулярная масса. Молекулярная масса с одной стороны будет влиять на вязкость термопластичного связующего, а с другой на механические свойства формируемых волокон. Таким образом для достижения высоких механических характеристик необходимо использовать оптимальную молекулярную массу термопластичного полимера.

В представленной работе были синтезированы полииамидокислоты на основе диангидрида Р (1,3-бис(3,3',4,4'-дикарбоксифенокси)бензол) и 4,4'-диаминодифенилового эфира (ДАДФЭ) с различной молекулярной массой. Молекулярную массу регулировали нарушением стехиометрического соотношения исходных мономеров (диангидрида к диамину) в ходе образования полииамидокислоты. При этом, чем ближе соотношении мольных долей диангидрида к диамину, тем выше молекулярная масса. Данное соотношение меняли от 0,98 до 0,93. Для определения молекулярной массы использовали методом светорассеивания и измерения характеристической вязкости растворов - полииамидокислоты. Из полииамидокислот в результате химической имидизации были получены порошки плавкого частично-кристаллического полиефириамида Р-ДАДФЭ.

Исследованы реологические и термические свойства сформированных порошков термопластичного полиефириамида. На основе полученных порошков Р-ДАДФЭ были сформированы волокна методом экструзии из расплава.

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ГЛИЦИДИЛАКРИЛАТА**

Пуртова А.А., Липин В.А., Петрова Ю.А.

*Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного  
университета промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург  
nastyapurtova67@gmail.com*

Сорбция является наиболее распространённой технологией удаления ионов тяжёлых металлов из водных растворов благодаря таким преимуществам, как простота эксплуатации, низкая стоимость и высокая степень очистки. Полимерные сорбенты на основе эпоксидных и спиртовых функциональных групп обладают высокой стабильностью и долговечностью. В настоящее время для удаления токсичных и опасных загрязняющих веществ используется целый ряд сорбентов, в том числе, содержащих глицидилметакрилаты [1].

Целью работы является синтез и исследование физико-химических свойств сорбентов на основе глицидилакрилата (ГА) и природных полимеров – карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) и крахмала.

Глицидилакрилат синтезировали взаимодействием акриловой кислоты с эпихлоргидрином [2]. Сорбенты получали полимеризацией ГА с КМЦ или крахмалом в среде диметилформамида [3].

Была исследована равновесная сорбция ионов металлов меди и никеля с использованием полученного сорбента, которая составила 120-180 ммоль/г. Установлено, что сорбция ионов металлов полимером на основе КМЦ описывается моделью Ленгмюра, полимером на основе крахмала описывается моделью Фрейндлиха. Энергия сорбции для обоих типов сорбентов – моделью Дубинина-Радушкевича, что указывает на физический характер взаимодействия. Процесс сорбции ионов металлов, исходя из рассчитанных значений  $\Delta G$ , является самопроизвольным.

Кинетика сорбции полимером на основе ГА-КМЦ описывается моделью псевдопервого порядка реакции, а полимером на основе ГА-крахмал – моделью псевдовторого порядка реакции.

В результате исследования равновесной сорбции органических красителей полученными полимерами установлено, что наибольшая сорбционная способность проявляется по отношению к индигокармину. Эффективность десорбции достигала 85–89 %.

На основании полученных термограмм была рассчитана энергия активации разложения полимеров и их комплексов с Cu(II). Ионы Cu<sup>2+</sup> в структуре полимеров повышают их стабильность к термоокислительной деградации.

### **Список литературы:**

- [1] *Sharma A.K., Kaith B.S., Agrawal G., Choudhary K., Tiwari H.* Soft Materials for Functional Applications. 2025. Р. 129 158. [2] Евдокимов А.Н., Курzin А.В., Липин В.А. Петрова Ю.А. Бутлеров. сооб. 2023. Т. 76. № 12. С. 167. [3] Липин В.А., Евдокимов А.Н., Петрова Ю.А. Патент РФ, № 2840766, дата регистрации 28.05.2025. Бюл. №16.

**СТРУКТУРНО-КОНФОРМАЦИОННЫЕ И  
ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НОВЫХ ИОНЕНСОДЕР-  
ЖАЩИХ ВОДОРАСТВОРИМЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ЩЕТОК НА  
ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ ГИДРОФИЛЬНЫХ МАКРОМОНОМЕРОВ  
МЕТОКСИОКСИОЛИГО(ЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ), ГИДРОФОБНОГО  
АЛКОКСИОЛИГО(ЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ)МЕТАКРИЛАТА**

Симонова М.А.<sup>1</sup>, Садков Д.Ю.<sup>1</sup>, Каморин Д.М.<sup>2</sup>, Симагин А.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Нижегородский государственный технический  
университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород,  
sadden2295@mail.ru*

Актуальным направлением является разработка новых метакрилатных полимеров, сочетающих преимущества блок-сополимеров полиэтиленгликоля полипропиленгликоля и МОЭГМА-щеток. Это открывает перспективы создания лекарств с улучшенной фармакокинетикой. Введение аминогрупп позволит регулировать свойства полимеров в зависимости от pH, увеличивая область их применения. Однако, следует отметить, что исследования таких комбинированных полимерных систем пока находятся на начальном этапе.

Цель работы синтез и исследование полученных методом контролируемой радикальной РАФТ-полимеризации новых ионенсодержащих водорастворимых молекулярных щеток на основе сополимеров гидрофильных макромономеров метоксиоксиолиго(этиленгликоль), гидрофобного аллокси<sub>12</sub>олиго(этиленгликоль)метакрилата. В работе в качестве методов исследования использовались статическое, динамическое рассеяние света, турбидиметрия и рефрактометрия. Молекулярно-массовые характеристики были определены в ДМФА. Термочувствительные свойства полимеров изучены в водно-солевом растворе (0.1M NaCl).

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что в водно-солевых молекулярные щетки на основе сополимеров гидрофильных макромономеров метоксиоксиолиго(этиленгликоль)-, гидрофобного аллокси<sub>12</sub>олиго(этиленгликоль)<sub>10</sub>метакрилата проявляют термочувствительность. При комнатной температуре в водно-солевых растворах всех исследованных сополимеров метод динамического рассеяния света зафиксировал существование только изолированных макромолекул, размеры которых полностью соответствуют размерам растворенных изолированных частиц, определенных в ДМФА. При увеличении температуры наблюдается фазовое расслоение. Увеличение доли ионенсодержащих макромономеров приводит к росту температур фазового разделения.

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОЛЕКУЛЯРНО ИМПРИНТИРОВАННЫХ ГЛЮКОЗОЙ ПОЛИМЕРОВ**

Светлова К.И., Гаркушина И.С.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
irin-g16@yandex.ru*

Молекулярно импринтированные полимеры (МИПы) – сорбционные материалы, представляющие собой сшитый полимер с полостями, способные удерживать вещество, которое использовалось как шаблон при их синтезе. Данные соединения характеризуются простотой получения, высокой селективностью, большим сродством и относительно недорогой стоимостью, что позволяет активно использовать МИПы в прикладных и научно-исследовательских областях, например, в медицине, для проведения препаративной сорбции или очистки воды. Исследование физико-химических параметров МИПов является важным этапом перед применением данных сорбционных материалов в тех или иных областях. Поэтому возникает задача исследования физико-химических свойств рассматриваемых сорбентов.

В ходе работы были экспериментально определены физико-химические параметры МИПов, синтезированных для изучения процесса сорбции глюкозы. Найден равновесный коэффициент набухания полимеров в двух растворителях различной природы (вода и этиловый спирт). При проведении эксперимента в воде образцы достигли максимального набухания быстрее, чем в этиловом спирте. Процесс набухания сорбентов в воде происходит за счет полярных групп звеньев сшивающего агента. Взаимодействие полимера со спиртом приводит к большему растяжению и объясняется, прежде всего, сольватацией основной цепи матрицы. Наиболее структурно устойчивым полимером оказался МИП-4. Помимо кинетики набухания были определены истинная плотность образцов, пористость и суммарный объем пор. Для расчета данных величин применялся метод пикнометрии, при этом для определения суммарного объема пор были проведены расчеты в соответствии со способом, представленным в публикации[1]. Было выявлено, что полимеры обладают близкими значениями пористости в сольватированном состоянии. Показано, что с введением 2 мол.% и 6 мол.% темплата наблюдается увеличение суммарного объема пор. Однако в случае полимера с 4 мол.% темплата происходило резкое увеличение значения данного параметра.

Таким образом, определены физико-химические параметры МИПов.

### **Список литературы:**

- [1] Osipenko A., Garkushina I. Polymers **14** (2), 353 (2022).

**ЭВОЛЮЦИЯ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ  
ИНДУСТРИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В  
ХОДЕ БЫСТРЫХ НАГРЕВОВ И ОХЛАЖДЕНИЙ**

Сяглова Е.Д.<sup>1,3,4</sup>, Пирязев А.А.<sup>2,3,4</sup>, Иванов Д.А.<sup>2,3,4</sup>

<sup>1</sup>*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), г. Долгопрудный*

<sup>2</sup>*ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В.Ломоносова», г. Москва*

<sup>3</sup>*ФИЦ ПХФ и МХ РАН, г. Черноголовка*

<sup>4</sup>*АНОО ВО «Университет «Сириус», Федеральная территория «Сириус»  
Syaglova.ed@talantiuspeh.ru*

Полимерные материалы широко применяются в разных отраслях — от упаковки и строительства до медицины и транспорта [1–2]. Высокая практическая значимость этих материалов требует глубокого понимания и контроля их структуры для целенаправленной оптимизации свойств изделий.

В настоящей работе исследуются образцы полиэтилена с различной предысторией приготовления с целью изучения процессов формирования и плавления кристаллитов, а также изменения их размеров и ориентации под действием термического воздействия. Особое внимание уделяется механизму «энтропийного взрыва» цепей при плавлении [3], который сопровождается быстрым высвобождением полимерных цепей и последующим образованием зацеплений, существенно влияющих на механические характеристики полимерных материалов. В литературе оценки времени достижения равновесной степени зацепления в расплаве полиэтилена сильно варьируются — от миллисекунд до нескольких дней. Для уточнения кинетики процесса используют сверхбыструю калориметрию (FSC) и быстрый рентгеноструктурный анализ. Результаты быстрой калориметрии на приборе Flash DSC 2+ Mettler Toledo показали, что энталпия плавления полиэтилена, закристаллизованного из раствора, при втором нагреве уменьшается вдвое. Для образца, закристаллизованного при высоком давлении, кроме снижения энталпии, температура начала плавления падает на 28 °C (с 137 °C до 109 °C). Эти данные свидетельствуют, что даже 10 миллисекунд нахождения в расплаве уже достаточно для протекания процесса формирования зацеплений.

Эксперименты по синхротронной рентгеновской дифракции показывают, что после плавления размеры кристаллических и аморфных областей становятся примерно одинаковыми (12 нм). Так, использование малоугловой рентгеновской дифракции *in situ* позволило проследить эволюцию этих областей в процессе плавления.

**Список литературы:**

- [1] Kaiser K., Schmid M., Schlummer M. Recycling. – 2017. – Т. 3. – №. 1. – С. 1.
- [2] Romero M. et al. Microchemical Journal. – 2020. – Т. 159. – С. 105366.
- [3] De Gennes, P.-G. “Explosion” upon melting. C. R. Acad. Sci., Ser. IIb: Mec., Phys., Chim., Astron. (1995), 321(9), 363–365.

**Благодарности**

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-73-30005).*

## ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЩЕТКИ НА ОСНОВЕ Н-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА: СТРУКТУРА И САМООРГАНИЗАЦИЯ В РАСТВОРАХ

Кирилэ Т.Ю.<sup>1</sup>, Титика С.Ю.<sup>2</sup>, Ксендзов Е.А.<sup>3</sup>, Ланкина Ю.И.<sup>3,4</sup>, Костюк С.В.<sup>5</sup>,  
Филиппов А.П.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ-ИВС, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский Политехнический университет им. Петра Великого, г.  
Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Белорусский государственный университет, г. Минск

<sup>4</sup>Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-  
исследовательский институт физико-химических проблем»

<sup>5</sup>Университет Сорбонна, Парижский институт молекулярной химии, г. Париж  
*tatyana\_pux@mail.ru*

В работе исследована серия стимул-чувствительных молекулярных щеток на основе N-изопропилакриламида (N-ИПААМ) и макромономеров поли-D,L-лактида (ПЛА) или поли-ε-капролактона (ПКЛ). Гидрофобность в полученных полимерах регулировалась изменением содержания макроинициаторов ПЛА и ПКЛ в макромолекулах. Кроме того, направленно варьировалась длина боковых цепей и плотность их прививки.

Гидродинамические характеристики молекулярных щеток были изучены методами молекулярной гидродинамики и оптики в этилацетате, так как ассоциативные явления в нем не наблюдались. Процессы самоорганизации в водных растворах были изучены методами рассеяния света и турбидиметрии.

Благодаря контролируемому синтезу методом радикальной сополимеризации по механизму RAFT, получены образцы с молекулярной массой ~ 30000 г/моль. Гидродинамические радиусы макромолекул варьировались от 2.5 до 4.0 нм в зависимости от строения и состава молекулярных щеток. Инкременты показателей преломления  $dn/dc$  зависели только от строения и лежали в интервале (0.1020 – 0.1260) см<sup>3</sup>/г.

При изучении самоорганизации в водных растворах были получены температурные зависимости интенсивности рассеянного света  $I$ , оптического пропускания  $I^*$ , гидродинамических радиусов частиц  $R_h$ , присутствующих в растворах, и их доля  $S_i$ . Для всех исследованных растворов при фиксированной концентрации  $c = 0.005$  г/см<sup>3</sup> методом динамического рассеяния света зафиксирован один тип частиц, с гидродинамическим радиусом ~ 10 нм.

По температурным зависимостям  $I$  и  $I^*$  определены температуры фазового разделения  $T$ . Полученные значения зависят от строения и содержания макромономеров в полимерных щетках. Все полученные значения  $T$  меньше, чем для N-ИПААМ, что связано с увеличением гидрофобности при добавлении макромономеров в цепь полимера.

## **СЕКЦИЯ 2**

# ***ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ И ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ***

**ЗАОЧНЫЕ ДОКЛАДЫ**

## 2-С-01

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ ИЗ ДИСПЕРСИИ ПОЛИВИНИЛАЦЕТАТА

Варгасова С.В., Терешко А.Е.

*Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль*  
*vargasovasv@ystu.ru*

На сегодняшний день многие противокоррозионные лакокрасочные материалы являются органоразбавляемыми и содержат в своем составе токсичные хроматы и ионы тяжелых металлов, которые оказывают негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду. Разработка водно-дисперсионного материала с нетоксичным противокоррозионным агентом могла бы решить весь спектр возникающих проблем. В качестве нетоксичного противокоррозионного пигмента может использоваться фосфат цинка. [1]

Для определения защитных свойств покрытий, сформированных из дисперсии поливинилацетата, методом спектроскопии электрохимического импеданса были получены покрытия с различным содержанием фосфата цинка.

После математической обработки результатов были определены значения импеданса покрытий в среднечастотной (при 100 Гц) и высокочастотной (при 1000 Гц) областях спектра.

Установлено, что при переходе от среднечастотной области к высокочастотной значение импеданса снижается. Значение импеданса для покрытий, наполненных фосфатом цинка, превосходит значение импеданса ненаполненного покрытия, что свидетельствует о их лучшей стойкости в среде электролита (3% раствор хлорида натрия). Как в среднечастотной области, так и в высокочастотной области спектра на третий сутки выдержки в среде электролита наблюдается существенное увеличение импеданса покрытия. Вероятно, это связано с закупоркой пор капиллярной структуры продуктами коррозии металла.

Также, введение фосфата цинка в состав дисперсии поливинилацетата не снижает эластичность покрытий, однако твердость при этом значительно ухудшается.

Таким образом, можно заключить, что введение противокоррозионных пигментов в состав покрытий, сформированных из водно-дисперсионных ЛКМ, позволяет существенно повысить их коррозионную стойкость, но при этом снижается твердость.

### **Список литературы:**

[1] Пат. 2572984 Российская Федерация МПК 5/02 (2006.01), C09D 5/08 (2006.01) / Водно – дисперсионная теплоизоляционная, антикоррозионная, антиконденсатная краска для металлических поверхностей. / Г.И. Петенев. – опубл. 20.01.2014 Бюл. № 2.

## ВЛИЯНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГУМАТОВ НА ЖИЗНESPОСОБНОСТЬ ИММОБИЛИЗОВАННЫХ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ

Галуза О.А.<sup>1</sup>, Коротков Н.А.<sup>1</sup>, Кабанов М.А.<sup>2</sup>, Киенская К.И.<sup>2</sup>, Николаев Ю.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН

<sup>2</sup>ФГБОУ «Российский химико-технологический университет им. Д.И.Менделеева»  
[olesya\\_galuza@mail.ru](mailto:olesya_galuza@mail.ru)

Молочнокислые бактерии (МКБ) характеризуются высокой скоростью отмирания при длительном хранении, что создает огромную проблему для различных отраслей промышленности, которые применяют микробные технологии. Одним из перспективных методов сохранения жизнеспособности бактериальных клеток является их иммобилизация, особенно включение в гелевые структуры. В связи с этим, было разработано множество иммобилизационных систем, изучены механизмы взаимодействия различных типов клеток с носителями. Однако, в настоящее время практически отсутствуют данные о взаимосвязи между физико-химическими свойствами носителей и жизнеспособностью иммобилизованных микроорганизмов, что в свою очередь препятствует эффективности оптимизации синтеза иммобилизованных клеточных систем.

Силанольно-гуматный гель (СГГ) был разработан на кафедре медицинской химии и тонкого органического синтеза химического факультета МГУ. Впервые он был применен для длительного (до 3 лет) поддержания высокого титра жизнеспособных клеток углеводородокисляющих бактерий. В данной работе было проведено исследование влияния предела текучести (по Бингаму) СГГ на основе гуматов с разными концентрациями полимерообразователя – (3-аминопропил)триэтоксисилана (АПТЭС) и молочной кислоты на выживаемость иммобилизованных клеток *Enterococcus faecium* M3185. В результате исследования установлена корреляция ( $r=0,97$ ) между прочностными характеристиками носителя (СГГ) и жизнеспособностью *E. faecium* (рис.1).

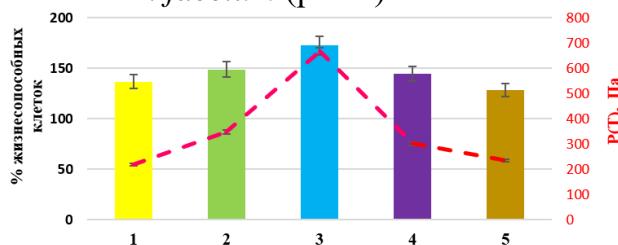


Рис. 1 – Зависимость предела текучести по Бингаму и % жизнеспособных клеток при разной концентрации АПТЭС в СГГ. Обозначения: 1 – СГГ с  $c(\text{АПТЭС})=0,014 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , 2 – СГГ с  $c(\text{АПТЭС})=0,02 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , 3 – СГГ с  $c(\text{АПТЭС})=0,025 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , 4 – СГГ с  $c(\text{АПТЭС})=0,03 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , 5 – СГГ с  $c(\text{АПТЭС})=0,035 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

На основе полученных данных был сделан вывод, что максимальная жизнеспособность иммобилизованных молочнокислых бактерий наблюдается при наибольшей прочности геля. Этот факт имеет важную практическую значимость для биотехнологии.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 24-24-20062

## СЛАБООСНОВНЫЙ ИОНИТ ТОКЕМ-320 КАК КОМПОНЕНТ ПИТАТЕЛЬНОГО СУБСТРАТА ДЛЯ РАСТЕНИЙ

Езубец А.П., Вонсович Н.В., Шаченкова Л.Н.

*Государственное научное учреждение «Институт физико-органической химии  
Национальной академии наук Беларусь», г. Минск  
natasha\_ya\_vonsovich@tut.by*

Ионитопоника – это метод выращивания растений, при котором в качестве субстрата используются ионообменные материалы, насыщенные всеми необходимыми элементами питания (ионами макро- и микроэлементов) в оптимальных для растений пропорциях. Одной из важных характеристик при выборе ионитов для изготовления питательных субстратов являются их кислотно-основные свойства. Зная параметры кислотности ионита по иону питательного элемента, можно рассчитать его максимальное количество в единице массы субстрата и сделать заключение о пригодности материала в качестве компонента питательного субстрата для растений. Целью работы являлось экспериментальное определение параметров кислотности нового анионообменного компонента для растений – макропористого стирол-дивинилбензольного ионита ТОКЕМ-320 с функциональными третичными аминогруппами (ООО ПО «ТОКЕМ», г. Кемерово, РФ). Предпосылкой применимости данного ионита в качестве компонента ионитного субстрата является присутствие в нем третичной аминогруппы, обладающей высоким сродством к нитрату – наиболее дефицитный элемент в питании растения. Потенциометрическое титрование (ПТ) проводили методом одной навески при постоянном солевом фоне 1 М KCl [1], предварительно измельчив полимер в Cl-форме в ступке. Обработка кривой ПТ (рис. 1) выявила в ТОКЕМ-320 1 вид анионообменных групп в количестве 4,4 мэкв/г с параметрами кислотности  $pK_a = 8,0$  и  $\Delta pK = 0,4$ . Полученные данные свидетельствуют о том, что анионит ТОКЕМ-320 перспективен для использования в качестве компонента питательных сред. На его основе в паре с сульфокатионитом ТОКЕМ-100 был получен новый питательный субстрат, продемонстрировавший хорошие результаты при выращивании различных растений [2].

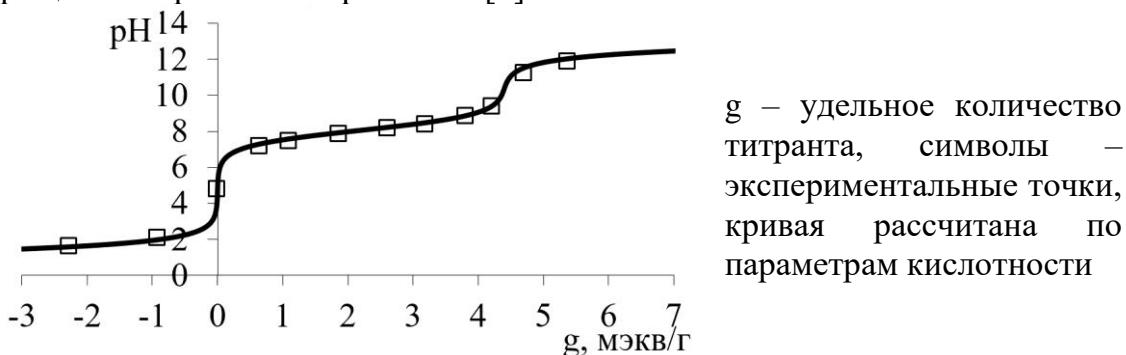


Рис. 1 - Кривая потенциометрического титрования ТОКЕМ-320, фон 1 М KCl.

### Список литературы:

- [1] Soldatov V. S. React. and Funct. Polym. **38** (2-3), 73-112 (1998).
- [2] Шаченкова Л. Н., Езубец А. П., Вонсович Н. В. Почвоведение и агрохимия **2**, 105-117 (2024).

**ПРИМЕНЕНИЕ ИОНООБМЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ ВОЛОКНИСТОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ПОЧВ**

Езубец А.П., Шаченкова Л.Н., Вонсович Н.В.

*Государственное научное учреждение «Институт физико-органической химии  
Национальной академии наук Беларусь», г. Минск  
natasha\_ya\_vonsovich@tut.by*

Учеными ИФОХ НАН БЕЛАРУСИ было доказано, что на основе синтетических и природных ионообменных материалов (ионитов) могут быть получены искусственные почвы, содержащие в своем составе все необходимые растению питательные элементы. Иониты волокнистой структуры в отличие от гранульных обладают высокой водоудерживающей способностью и высокой скоростью ионного обмена, что является благоприятными факторами для роста растений. Волокнистые ионитные субстраты показали высокую эффективность при длительном выращивании растений в космосе в условиях невесомости в рамках программ космических исследований СССР на орбитальных станциях и космических кораблях в 1970–1994 гг [1].

В данной работе разработана рецептура и получен экспериментальный образец питательного субстрата для выращивания растений на основе современных слабодиссоциирующих волокнистых ионитов с полиакрилонитрильной матрицей производства ООО «ИМТ-Фильтр» РБ: карбоксильного катионита ПАН-ГГ-НаОН-2СТ и анионита с функциональными группами диметиламинопропиламина (ПАН-ДМАПА). В биологических испытаниях доказана его способность обеспечивать необходимые условия для роста и развития различных тест-растений из семян (салат, райграс, бархатцы) и черенков. Черенок пеларгонии королевской укореняли во влажном субстрате ПАН-ГГ-НаОН-2СТ+ПАН-ДМАПА (Рис. 1). Масса субстрата – 9,2 г, вазон – 50 мл. Полив водопроводной водой.



Рис. 1 – Результаты укоренения верхушечного черенка королевской пеларгонии (1 месяц – слева, 6 месяцев – справа).

**Список литературы:**

- [1] Солдатов В.С., Перышкина Н.Г., Лукашевич Л.И., Хорошко Р.П. Весці акадэміі навук Беларускай ССР **6**, 85-90 (1985).

## 2-С-05

# МОДИФИКАЦИЯ СТЕКЛОНАПЛНЕННОГО ПОЛИАМИДА 6, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ПРОИЗВОДСТВЕ ШТЫРЕВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Киселева Н.С.<sup>1</sup>, Пискарёв Н.А.<sup>1</sup>, Плешкевич Д.В.<sup>1</sup>, Коробко Е.А.<sup>1</sup>, Алексеев А.А.<sup>1</sup>  
Осипчик В.С.<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>*Новомосковский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева»*

<sup>2</sup>*ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева»*

*kiseleva.n.s@tuctr.ru*

Хорошие электроизоляционные и механические свойства стеклонаполненного полиамида 6 (ПА-6С) предопределили его использование в производстве штыревых полимерных изоляторов, применяемых на высоковольтных линиях электропередачи и в распределительных устройствах электростанций и подстанций с напряжением до 35 кВ. Однако склонность полиамида к водо- и влагопоглощению, особенно в длительную дождливую погоду, может негативно сказаться на эксплуатационной надёжности изоляторов.

Известно, что введение добавок акрилонитрилбутадиенстирольных пластиков (АБС-пластиков) в состав ненаполненного полиамида 6 (двухшнековая экструзия) способствует снижению его водопоглощения [1] и механических свойств [2-4].

В настоящей работе изучено влияние добавок (АБС-пластика) марки АБС-2020 на свойства стеклонаполненного полиамида ПА 6-210-КС. Содержание АБС-2020 в смесях составляло 0, 5, 10, 15 и 20 % по массе. Смеси, получаемые в холодном смесителе, перерабатывали литьём под давлением (термопластавтомат SSF-520) в стандартные образцы без предварительного их гранулирования и с предварительным гранулированием. (двуихшнековый экструдер SHJ-20).

Определяли показатель текучести расплава, показатели при растяжении, изгибе, теплостойкость (при изгибе, по Вика), усадку, водопоглощение (при кипячении в течение 4-х часов и при комнатной температуре в течение 7 суток).

В целом, полученные результаты согласуются с данными [2-4]. При этом роль предварительного смешения исходных компонентов в расплаве несущественна.

### Список литературы:

[1] *Luna C.B.B., Filho E.A.S., Siqueira D.D., Araújo E.M., Nascimento E.P., Mélo T.J.A. Materials.* 15, 2502 (2022). [2] *Mamat A., Vu-Khanh T., Cigana P., Favis B. D. J. Polym. Sci. Part B: Polym. Phys.* 35 (16), 2583–2592 (1997). [3] *Кахраманлы Ю.Н., Халилов Э.Н., Пашаев М.Р., Алыев М.Ю. Азерб. хим. ж. № 2, 110-115 (2012).* [4] *Алексеев П.А., Осипчик В.С., Алексеев А.А. мл., Шейкин А.Н. 9-я Всерос. науч.-техн. конф. Приоритетные направления развития науки и технологий. Тула, (2011), 204-205.*

### Благодарности

*Работа выполнена в рамках гранта правительства Тульской области, договор № ДС/169 от 28 декабря 2024 года.*

## 2-С-06

# СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ МОРФОЛОГИИ ПОЛИМЕРНЫХ ЛАТЕКСОВ И ПЕН

Маркова А.И., Савенко А.О., Хижняк С.Д., Пахомов П.М.

*Тверской государственный университет, г. Тверь*  
*alenamarkova1992@gmail.com*

В последние годы активно разрабатывается спектроскопический метод для оценки морфологии различных рассеивающих объектов. Данный метод уже показал хорошие результаты в определении размеров частиц и их распределения по размерам в эмульсиях, супензиях, пористых и наполненных полимерах [1].

Целью настоящей работы явилось выяснение возможности использования спектроскопического метода во всем оптическом диапазоне (УФ, видимая и ИК области спектра) для исследования морфологии латексов (водных растворов сферических частиц полистирола (ПС) с карбоксильными и аминогруппами на поверхности частиц с различной концентрацией). Помимо этого, метод был впервые применен для оценки пористости пен – водных растворов ПАВ: цетилпиридиний бромида (ЦПБ), додецилсульфат натрия (SDS) и сульфанола.

Экспериментально установлено, что полимерные микросфера, как и пузырьки воздуха в пенах, существенно снижают светопропускание с ростом концентрации рассеивающих частиц в водном растворе. Микроочастицы ПС с поверхностью, модифицированной амино- и карбоксильными группами имели высокую склонность к агрегации с ростом их концентрации в латексе из-за водородного связывания (см. рис.1В).

Показано, что спектроскопический метод, может с успехом использоваться для оценки степени наполнения водной матрицы рассеивающими частицами, средних размеров частиц и их распределения, а также способности частиц к агрегации.

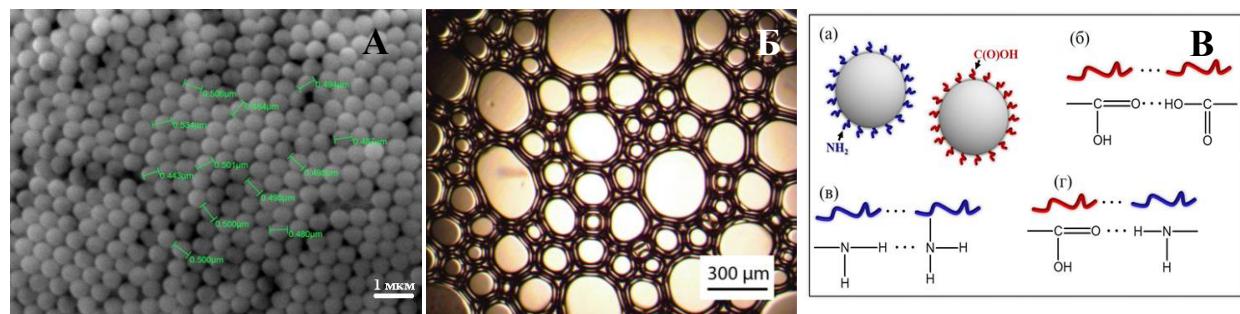


Рис.1 – А: СЭМ микрофотографии латексов ПС и аминогруппами в поверхностном слое. Б: микрофотографии пены на основе ЦБП. В: Схема, характеризующая три типа водородного связывания между частицами (а):(б) — между карбоксильными группами на поверхности микросфер ПС, (в) — между аминогруппами и (г) — между карбоксильными и аминогруппами.

## Список литературы:

- [1] Markova A.I., Ivanova A.I., Malyshov M.D., Khizhnyak S.D., Pahomov P.M. Russian Journal of Applied Chemistry. 2023. Т. 96. № 10. С. 919-927.

# РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ МЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Сулдина Ж.И.<sup>1</sup>, Русинова Е.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ЗАО фирма «АЗОС», г. Екатеринбург

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.  
Ельцина, г. Екатеринбург  
*elenas.rusinova@urfu.ru*

Известно, что водные растворы метилцеллюлозы (МЦ) способны к гелеобразованию при нагревании. Представляло интерес исследовать вязкоупругие свойства системы МЦ – вода выше и ниже порога гелеобразования. В этой связи в данной работе первоначально была получена фазовая диаграмма для водных растворов МЦ ( $M_\eta = 1,45 \cdot 10^5$ , степень замещения 1,7, НКТР = 329,6 К). Реологические свойства растворов МЦ с концентрациями в диапазоне 1,0–5,0 % масс. полимера изучали в режиме гармонических колебаний на реометре Haake MARS с рабочим узлом типа конус-плоскость в диапазоне напряжений 0,1 – 200 Па и частот 0,1 – 100 Гц. Исследования проводили в диапазоне температур 300 – 340 К. Амплитуду колебаний (напряжение) варьировали в зависимости от результатов предварительных испытаний растворов в режиме развертки по амплитуде при частоте 1 Гц. Получали зависимости комплексной вязкости ( $\eta^*$ ), модуля накопления ( $G'$ ) и модуля потерь ( $G''$ ) от частоты. Обнаружено, что происходит смена реологического поведения растворов с вязко-упругого на упруго-вязкое: наблюдается так называемый кроссовер при определенной частоте колебаний. Частотные зависимости динамических модулей растворов метилцеллюлозы, полученные при температурах, на 10 градусов ниже и выше их  $T_g$ , позволяют сделать вывод о зависимости динамического поведения систем от степени их удаленности от области фазового разделения по типу гелеобразования с НКТР. Динамические измерения позволяют рассчитать начальные значения вязкости – предельные значения вязкости, когда скорости и напряжения сдвига стремятся к нулю. Для этого в работе были построены зависимости величины ( $G''/\nu$ ) от частоты в диапазоне температур 298–388 К и проведена экстраполяция начальных участков на нулевое значение частоты. Согласно представлениям, полученная таким образом величина равна начальной вязкости ( $\eta_0$ ) и связана с энталпией активации течения следующим образом:

$$\eta_0 = A' \cdot \exp(\Delta H/RT),$$

где  $A'$  – предэкспоненциальный множитель, связанный с энтропией активации ( $\Delta S$ ) вязкого течения;  $\Delta H$  – энталпия активации течения, Дж/моль.

В работе рассчитаны величины  $\Delta H$  и  $\Delta S$  для исследованных растворов МЦ. Отрицательные значения  $\Delta S$  связаны с преимущественным протеканием ориентации при течении. Высказано предположение, что отрицательные значения энталпии и энтропии активации связаны с процессами гелеобразования в данной системе с НКТР.

## **СЕКЦИЯ 3**

### ***ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ***

#### **УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ**

### **3-О-01**

## **УГЛЕРОДНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ КАК МОДИФИКАТОРЫ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ ПОЛИИМИДОВ**

Кунцман И.В., Николаева А.Л., Диденко А.Л., Иванькова Е.М., Власова Е.Н.,  
Гофман И.В., Ларин С.В.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» -  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
e-mail: i.v.kuntsman@gmail.com*

Ароматические полииимида (ПИ) представляют собой класс термостойких полимеров, способных функционировать при температурах вплоть до 400 °C. Сочетание термостабильности, высоких механических свойств, а также химической и радиационной стойкости делает ПИ незаменимыми для аэрокосмической, нефтегазовой и электронной промышленности. Перспективным способом модификации ПИ является введение углеродных наночастиц, способных выступать в роли армирующих, проводящих электрический ток и влияющих на газотранспортные свойства наполнителей. Однако под воздействием высоких температур происходит необратимая деградация ПИ, ограничивающая эксплуатационный ресурс – термическое старение.

В данной работе проведено комплексное исследование влияния углеродных нановолокон (УНВ) и нанотрубок (УНТ) на термическую стабильность пленок на основе ПИ ПМ-ДАДФЭ и Р-ДАДФЭ [1]. Результаты проведенных механических испытаний показывают, что введениеnanoуглерода приводит к более медленному снижению прочности и предельной деформации пленок ПИ в условиях термического старения при температурах в интервале 350-500 °C. Например, после 2 часов старения при 400 °C прочностные характеристики нанокомпозитов на основе ПМ-ДАДФЭ сохранялись практически неизменными, в то время как для ненаполненного полимера этот показатель не превышал 80 % от начального.

Оценка кинетики старения пленок методом термогравиметрии показала, что для активации старения нанокомпозитов требуется больше энергии, чем для ненаполненных материалов. А благодаря ИК- и диэлектрической спектроскопии было установлено, что модифицирующий эффект углеродных наночастиц обусловлен усилением межмолекулярных взаимодействий в ПИ, включая π-π взаимодействия между ароматическими фрагментами макромолекул. Полученные результаты открывают новые перспективы создания полииimidных нанокомпозитов с повышенным сроком службы для применения в экстремальных условиях.

#### **Список литературы:**

[1] Kuntsman I., Nikolaeva A., Didenko A., Vlasova E., Ivan'kova E., Gofman I., Larin S. Journal of Polymer Research **32**, 223 (2025).

#### **Благодарности**

Работа выполнена в рамках государственного задания филиала НИЦ "Курчатовский институт" - ПИЯФ - ИВС (№ 1023031700040-5-1.4.4).

### 3-О-02

## ФТАЛОНИТРИЛЬНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ ИНИЦИАТОРОВ ПОЛИКОНДЕНСАЦИИ С ФОСФАТНЫМ ЛИНКЕРОМ

Асанов Р.К., Терехов В.Е., Морозов О.С.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, г. Москва  
r.k.asanov@yandex.ru

Применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) ограничено невысокими максимальными температурами эксплуатации полимеров. Фталонитрилы (ФН) являются наиболее термостойкими среди реактопластов ( $T_c > 400$  °C,  $T_{5\%} > 500$  °C) [1], поэтому могут использоваться в областях, где материалы подвержены воздействию высоких температур.

ФН-связующее состоит из мономеров и инициатора поликонденсации, также для применения экономически выгодных безрастворных техник формования используют активные разбавители [2].

Аминофенилфосфаты (АФФ) могут выполнять функции инициаторов поликонденсации, активных разбавителей и антипирена, с их помощью можно сократить количество компонентов ФН-связующего.

В ходе исследований отработаны синтезы соединений, структуры и чистота подтверждены методами  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{31}\text{P}$  ЯМР-спектроскопии, высокоэффективной жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии, подтверждена гидролитическая устойчивость веществ. Температуры плавления веществ получены методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Смеси аминофенилфосфатов с мономерами были проанализированы методом ДСК, проведены реологические испытания. Изготовлены пластики, проведены испытания методами динамического механического анализа (DMA), термогравиметрии. Получены образцы ПКМ, проведены термоокислительное старение, механические испытания и определение кислородного индекса (КИ): КИ пластиков 55%, ПКМ 100% - не горят.

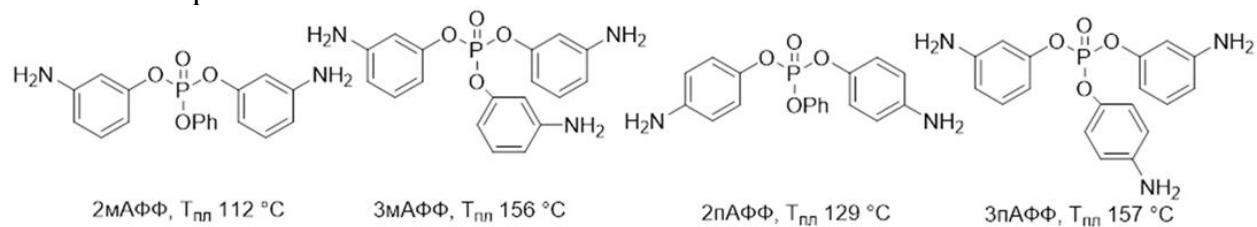


Рис. 1 – Объекты исследования.

### Список литературы

[1] Bulgakov B.A., Sulimov A.V., Babkin A.V., Afanasiev D.V., Solopchenko A.V., Afanaseva E.S., Kerman A.V., Avdeev V.V. Mendeleev Communications, **27** (3), 257-259 (2017).

[2] Terekhov V.E., Morozov O.S., Babkin A.V., Kerman A.V., Avdeev V.V., Bulgakov B.A. Mendeleev Communications, **35** (1), 112-115 (2025).

### Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова (соглашение № AAAA-A21-121011590086-0).

### 3-О-03

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИОЛЕФИНОВЫХ ДОБАВОК НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА В РАСТИТЕЛЬНОМ МАСЛЕ УДАРОПРОЧНОГО ПОЛИСТИРОЛА

Бойченко Е. А.<sup>1,2</sup>, Бурмистров И.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, г. Москва*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва  
elena.boychenko.sar@gmail.com*

В настоящее время набирает популярность разработка отечественных качественных материалов и модификаторов материалов для производства различной бытовой и промышленной техники. Одной из актуальных проблем является повышение маслостойкости ударопрочного полистирола (УППС), который применяется при изготовлении внутренних корпусов холодильных камер. Растрескивание последних при попадании растительного масла представляет большие проблемы для эксплуатации техники.

В работе представлено исследование влияния добавок такого полиолефина в ударопрочный полистирол, как сополимер полиэтилена и 1-октена в различных концентрациях, а также изучение строения полученной смеси с помощью сканирующих электронной микроскопии (рисунок 1).

По результатам исследования было определено, что добавки вышеописанного полиолефинового полимера в конценотации повышает относительное удлинение при разрыве в среде растительного масла. При чем наиболее эффективной является добавка 5 % масс.

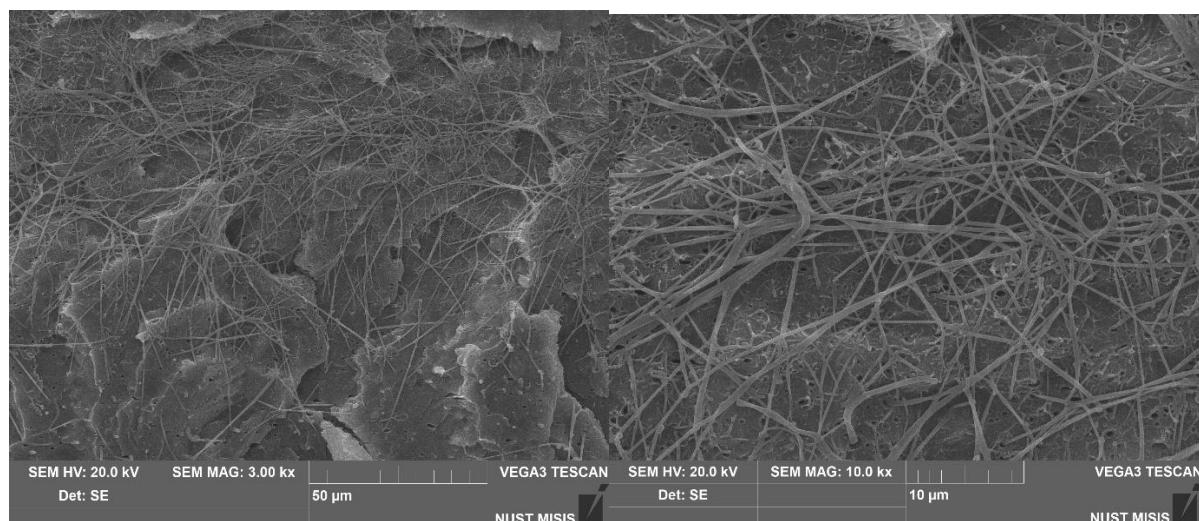


Рис. 1 - Микрофотографии образца УППС – 95% , полиолефиновая добавка – 5% с разным увеличением.

**ВОЛОКНИСТЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПЕНОМАТЕРИАЛЫ НА  
ОСНОВЕ ПЕНОПОЛИИМИДОВ**

Полотнянников К.С., Светличный В.М., Ваганов Г.В., Камалов А.М., Попова Е.Н.,  
Иванькова Е.М., Юдин В.Е.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константина  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
konstantin.polotn@gmail.com*

Для развития авиационной и судостроительной отраслей промышленности необходимы новые материалы, обладающие повышенными эксплуатационными характеристиками: низкая плотность при высоких механических характеристиках, термо- и морозостойкость. Всем перечисленным требованиям соответствуют пористые материалы на основе полииimidов. Однако представленные в литературе материалы обладают относительно невысокими механическими характеристиками [1-3]. Для улучшения эксплуатационных свойств таких материалов возможно применение армирующих волокнистых наполнителей.

В данной работе получены волокнистые композиционные материалы при использовании форполимеров полииimidов на основе различных ароматических диангидридов и диаминов., и нетканого полииimidного волокна «Аrimid®». Порошкообразные форполимеры наносили на слой полииimidного волокна, каландрировали их при 120°C для получения препрегов, после чего препреги стопкой помещали в закрытую металлическую форму и проводили термическую обработку для получения пористой полииimidной структуры, при этом порообразователями служили вода и этанол, выделяющиеся из форполимера в процессе высокотемпературной дегидроциклизации.

Плотность полученных композиционных материалов варьируется в диапазоне 100-250 кг/м<sup>3</sup>, T<sub>g</sub> лежит в области 249-264°C, индекс термостойкости t<sub>5</sub> достигает 586°C, при этом разрушающее напряжение составляет 7-10 МПа.

**Список литературы:**

- [1] Liu H., Tian H., Yao Y., Xiang A., Qi H., Wu Q., Rajulu A. New J Chem. **44**, 12068-12078 (2020).
- [2] Sun G., Wang W., Zhang C., Liu L., Wei H., Han S. Journal of Applied Polymer Science **134**, 45041. (2017).
- [3] Yun S., Sheng X., Wang S., Miao X., Shi X., Zhao Y., Qin J., Zhang G. Polymers **15**, 2609 (2023).

**Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-13-20001) и регионального гранта Санкт-Петербургского научного фонда.*

### **3-О-05**

## **БИОСОВМЕСТИМЫЕ ТРЕХМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И КОЛЛАГЕНА**

Качалова А.И.<sup>1</sup>, Апрятинова К.В.<sup>1</sup>, Смирнова Л.А.<sup>1</sup>, Ковылин Р.С.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород*

<sup>2</sup>*Институт металлоорганической химии имени Г. А. Разуваева,  
Нижний Новгород  
an2888@mail.ru*

В последние десятилетия исследования композиций на основе биополимеров становятся все более актуальными, особенно в направлении разработки материалов и скаффолдов для ранозаживления, остановки крови и остеозамещения в тканевой инженерии. Одними из перспективных полимеров для их разработки являются хитозан и коллаген. Хитозан - полисахарид, характеризующийся биосовместимостью, отсутствием токсичности, биодеградируемостью. Коллаген представляет собой фибрillлярный белок, который способствует обеспечению прочности и эластичности связок и сухожилий. На их основе разрабатываются гели, нановолокна, мембранны, пленки. Но особо интересным представляется формирование пористых трехмерных материалов.

Целью работы является синтез трехмерных композитов на основе хитозана и коллагена, исследование их физико-химических свойств, пористости и биосовместимости. Композиции получены смешиванием растворов гомополимеров в различных соотношениях хитозан:коллаген по массе: 1:1, 1:2 и 2:1. Блок-сополимеры синтезированы методом ультразвукового (УЗ) диспергирования смесей исходных биополимеров при различном времени обработки. В растворы введен сшивющий агент - формальдегид. Получены трехмерные композиты методом лиофильной сушки. По результатам механических испытаний образцов при сжатии на 10% наблюдалось, что наилучшими механическими характеристиками обладают композиции, синтезированные из смеси гомополимеров, состава 2:1 - 0,11 МПа, и образец на основе блок-сополимера при 5 мин УЗ-воздействия - 0,07 МПа.

Пористость и биосовместимость являются основными параметрами, определяющими структуру и свойства трехмерных композитов при их применении в тканевой инженерии. Размер пор, удельную поверхность и распределение пор по размерам определены методом ртутной порометрии. Показано, что диаметр пор в образцах гомополимеров варьируется от 100 до 1000 мкм. Для смеси и блок-сополимера максимальный диаметр пор смещается в сторону меньших значений и составляет около 300 мкм. Биосовместимость образцов исследована в опытах по адгезии и пролиферации клеток фибробластов человека линии BJ-5ta на поверхности их пленок. Лучшая адгезия и рост фибробластов наблюдается на поверхности образца блок-сополимера при 30 мин УЗ-воздействия.

### **Благодарности**

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

### 3-О-06

## ПОЛУЧЕНИЕ ДАТЧИКОВ РАСТЯЖЕНИЯ ИЗ ИОННЫХ ГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОВОЛОКОН БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ МЕТОДОМ 3D ПЕЧАТИ

Просвирнина А.П.<sup>1</sup>, Воробьев В.К.<sup>1</sup>, Боброва Н.В.<sup>1</sup>, Сивцов Е.В.<sup>2</sup>, Бугров А.Н.<sup>1,3</sup>,  
Курындин И.С.<sup>1</sup>, Головин М.А.<sup>4</sup>, Смирнов М.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный технологический институт

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический университет,

<sup>4</sup>«Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта»  
Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации,  
г. Санкт-Петербург

aprosvirnina95@gmail.com

Продемонстрирован электрический отклик 3D-печатных сеток из ионпроводящего геля для измерения угла сгибания протеза коленного сустава. Чернила для 3D-печати были получены на основе полимеризующегося глубокого эвтектического растворителя (пГЭР), состоящего из акриловой кислоты и хлорида холина в мольном соотношении 3:1, и модифицированных нановолокон целлюлозы (НВЦ). Печать проводили методом робокастинга с последующим УФ-отверждением. Поверхность НВЦ модифицировали с использованием 3-(триметоксисилил)пропилметакрилата (М-НВЦ) и 3-(3-аминопропил)триэтоксисилана (А-НВЦ) по методике, описанной в работе [1]. Были исследованы реологические свойства чернил на основе модифицированных НВЦ и пГЭР. Повышенное предельное напряжение сдвига для чернил А-НВЦ/пГЭР указывает на структурирование пГЭР вблизи поверхности целлюлозы, модифицированной -NH<sub>2</sub> группами, что обусловлено ионными и водородными связями с акриловой кислотой в составе пГЭР. Механические испытания образцов после 3D-печати и УФ-отверждения показали сопоставимую прочность композитов, содержащих 8 масс. % М-НВЦ и 8 масс. % А-НВЦ, однако разрывное удлинение для А-НВЦ (370%) оказалось в 8,2 раза выше, чем для М-НВЦ (45%). Это различие объясняется ковалентным сшиванием М-НВЦ после УФ-отверждения, тогда как А-НВЦ взаимодействует с полимерной матрицей посредством обратимых ионных и водородных связей. Ионная проводимость для обоих типов модификации и содержания наполнителя была одинаковой и лишь незначительно уступала таковой для ионных гелей с немодифицированной целлюлозой. 3D-печатная сетка из ионного геля на основе М-НВЦ благодаря отсутствию дефектов печати перспективна для применения в тензодатчиках.

### Список литературы:

[1] Prosvirnina, A.P.; Bugrov, A.N. et al. J. Mater. Sci. **57**, 20543–20557 (2022).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках госзадания (№ 1023031700043-2-1.4.4). Реологические исследования выполнены на оборудовании инженерного центра СПбГТИ(ТУ).

### **3-О-07**

## **СЕНСОРНЫЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ КООРДИНИРОВАННЫХ ОРГАНОЗАМЕЩЁННЫХ КРЕМНЕЗЁМОВ КАК ПЛАТФОРМА ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО АНАЛИЗА ИОНОВ МЕТАЛЛОВ**

**Сафиуллин К.Р.<sup>1</sup>, Сазонов О.О.<sup>1</sup>, Давлетбаева И.М.<sup>1</sup>, Зарипов И.И.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
г. Казань, Россия*

*<sup>2</sup>Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань, Россия  
karimsafullin01@yandex.ru*

Современные методы определения ионов металлов требуют чувствительных и избирательных сенсорных материалов. Мембранные сенсоры на основе микропористых блок-сополимеров (ОБС) представляют интерес благодаря своей морфологии, обеспечивающей быстрый ионный обмен на границе раздела фаз. Эффективность таких сенсоров во многом определяется структурой и составом мембранны.

В данной работе исследовано влияние устойчивых к самоконденсации органозамещённых кремнезёмов, координированных ионами меди (ASiP-Cu), на синтез микропористых ОБС [1]. Сополимеры были получены раскрытием изоцианатных групп 2,4-толуилендиизоцианата (ТДИ) по карбонильной составляющей под действием терминальных калийалкоголятных групп триблочного сополимера ПЭГ(Полиэтиленгликоль)-ППГ(Полипропиленгликоль)-ПЭГ. В результате формировалась уникальная структура, включающая копланарные полизоцианатные блоки ацетальной природы и гибкоцепную амфи菲尔ную матрицу.

Полученные материалы были протестированы как сорбенты для аналитических реагентов PAN и PHENAZO. Поглощение этих реагентов контролировалось методом спектрофотометрии, с определением времени достижения стационарного состояния. Особенно высокую чувствительность по отношению к ионам магния продемонстрировал PHENAZO. Сравнительный анализ показал, что мембранны на основе ОБС, модифицированных ASiP-Cu, обеспечивают более высокую сорбционную ёмкость и лучшую стабильность сигнала по сравнению с немодифицированными аналогами. Это объясняется синергией между микропористой структурой полимера и наличием координационных центров Cu(II), способствующих избирательному связыванию ионов.

Мембранные сенсорные материалы на основе ОБС и ASiP-Cu представляют собой перспективную платформу для селективного анализа катионов, сочетая высокую чувствительность, структурную стабильность и возможность тонкой настройки за счёт модификации состава.

#### **Список литературы:**

[1] Li E., Safiullin K., Davletbaev R., Sazonov O., Arkhipov A., Davletbaeva I. Herald of Technological University, 27 (8), 51-56 (2024)

### 3-О-08

## ВЛИЯНИЕ ФТОРСОДЕРЖАЩЕГО АКТИВНОГО РАЗБАВИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ФТАЛОНИТРИЛЬНЫХ СМОЛ И ПОЛИМЕРОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Заярузный А.М., Терехов В.Е., Морозов О.С.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова г. Москва  
arkzay@mail.ru*

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе фталонитрилов (ФН) обладают высокими рабочими температурами и механическими свойствами [1]. Для улучшения технологичности и использования экономически выгодных методов формования ПКМ в связующее вводят специальные вещества – активные разбавители (АР). В литературе описан АР, содержащий бензонитрильную группу [1]. В работе [2] было показано, что бенzonитрилы вступают в процесс сополиконденсации с ФН, из-за чего повышается степень сшивки конечного полимера, что влечет повышение температуры стеклования. В работах лаборатории было показано, что  $T_{ct}$  полимеров постотверженных при 330 °C на основе 4-феноксифталонитрила, у которого фенильная группа не участвует в процессе поликонденсации, и 4-(4-цианофенокси)фталонитрила составляет 288 °C и 333 °C, соответственно. В представленной работе изучается влияние фторированного АР (рисунок 1), который имеет несколько потенциально активных реакционных центров за счет наличия фторов в структуре, на  $T_{ct}$  и свойства реактопластов и ПКМ. Целью данной работы является получение фталонитрильных реактопластов и ПКМ на основе фторсодержащего АР и исследование их  $T_{ct}$  при разных температурах постотверждения.

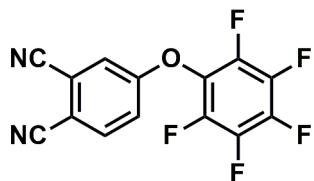


Рис. 1 – Фторсодержащий АР.

На основе объекта исследования были получены образцы реактопластов, постотверженных при температурах в диапазоне 210-375 °C.  $T_{ct}$  реактопластов определяли с помощью динамического механического анализа, чтобы сравнить с данными, полученными для 4-феноксифталонитрила и 4-(4-цианофенокси)фталонитрила. Получен ПКМ на основе фторированного АР и охарактеризованы его механические свойства.

#### Список литературы:

- [1] Yakovlev M., Kuchevskaia M., Terekhov V., Morozov O., Babkin A., Kerzman A., Avdeev V., Bulgakov B. Materials Today Communications **33**, 104738 (2022).  
[2] Terekhov V., Aleshkevich V., Afanasieva E., Nechausov S., Babkin A., Bulgakov B., Avdeev V. Reactive and Functional Polymers **139**, 34-41 (2019).

#### Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова (соглашение № AAAA-A21-121011590086-0).

### **3-О-09**

## **РЕВЕРСИВНОСТЬ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНОГО НАНОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ УРЕТАНАКРИЛАТОВ И НАНОЧАСТИЦ СУЛЬФИДА МЫШЬЯКА**

Одинцова С.Е., Бурункова Ю.Э., Тарасов В.Е.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»*

*г. Санкт-Петербург  
svetla1209@gmail.com*

Полимерные нанокомпозитные материалы используются в электрооптических и фотонных устройствах благодаря сочетанию прочности и эластичности матрицы с возможностью изменения свойств путём внедрения наночастиц, особенно халькогенидов. Эти материалы демонстрируют различные фотоиндуцируемые эффекты, оптические свойства, которых можно менять облучением, отжигом или добавлением наночастиц с плазмонным резонансом [1]. Изменение оптических свойств халькогенидов в объёмном и наносостоянии противоположно: в стёклах и плёнках при нагревании происходит фотопосветление, а при облучении – фотопотемнение [2]. В случае наночастиц  $\text{As}_2\text{S}_3$  в пористом стекле или полимерной матрице наблюдается обратный эффект. Эффекты полимерных нанокомпозитов с  $\text{As}_2\text{S}_3$  не исследованы хотя подобные материалы являются перспективными оптическими средами с фотоиндуцированными свойствами. Целью исследования является определение оптимальных параметров внешних воздействий (отжига и облучения) на образцы акрилатного нанокомпозита с наночастицами сульфида мышьяка и золота для достижения максимального изменения оптических свойств при возможности их реверсивности. Наночастицы сульфида мышьяка (III), полученные путём растворения халькогенидных стёкол в окислённом диэтиламине, вводились в смесь фотоотверждаемых акриловых мономеров с наночастицами золота и инициатором, с последующей полимеризацией. Режим исследования полимерного композита включал термическую обработку при различных температурах ( $100/120/140/150/160^\circ\text{C}$ ) и последующее облучение ( $\lambda = 532$  нм, мощность 76 мВт). После нагрева и облучения были записаны спектры пропускания образцов. Установлено, что термическое воздействие смещает полосу поглощения в длинноволновую область, а облучение – в коротковолновую. Введение золота в полимерные композиты с халькогенидами приводит к уменьшению смещения полосы поглощения по сравнению с исходным композитом. Методом Тауца была рассчитана ширина запрещённой зоны. Оптимальные параметры обработки образцов без наночастиц золота: температура  $120^\circ\text{C}$ , время нагрева - 1 час, время облучения при 532 нм и мощности 76 мВт - 1 час. Для нанокомпозитов с золотыми наночастицами оптимальен отжиг при  $140^\circ\text{C}$  при тех же других параметрах.

#### **Список литературы:**

- [1] K. Tanaka, K. Shimakawa (eds.), *Amorphous chalcogenide semiconductors and related materials* (Springer, New York, 2011)
- [2] Burunkova J., Molnar S., Sitnikova V. et al. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 2019, vol. 30, pp. 9742–9750. DOI: 10.1007/s10854-019-01309-w.

**МУЛЬТИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОЛИУРЕТАНЫ НА ОСНОВЕ  
ИОНОГЕННЫХ ПОЛИОЛОВ**

Сазонов О.О., Давлетбаева И.М.

*<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технологический  
университет, г. Казань, Россия  
sazonov.oleg2010@gmail.ru*

Актуальной научно-технической задачей является разработка эффективных методов обезвоживания разбавленных водно-спиртовых азеотропов, где первапорационное мембранные разделение, применяемое самостоятельно или в сочетании с дистилляцией, представляет особый интерес. Ключевым аспектом данной технологии выступает использование гидрофильных полимерных мембран, среди которых перспективными материалами являются иономерные системы, содержащие до 10 мол.% ионных групп. Особое внимание уделяется полиуретановым иономерам (ПУИ), синтезируемым как посредством ионогенных диолов включая производные орто-фосфорной кислоты, так и методом постполимерной модификации, что открывает возможности для целенаправленного регулирования их селективных характеристик. Полиуретановые иономеры представляют значительный научный и практический интерес благодаря уникальному сочетанию механических свойств полиуретанов и функциональности ионных групп, что позволяет целенаправленно регулировать их физико-химические характеристики (гидрофильность, ионную проводимость, сорбционную способность). Эти материалы перспективны для создания селективных мембран первапорационного разделения азеотропных смесей, разработки антитатических покрытий, биосовместимых материалов и самовосстанавливающихся систем. Развитие методов синтеза ПУИ с контролируемым содержанием ионных групп открывает новые возможности для создания материалов с заданными транспортными.

В работе синтезированы фосфорорганические полиолы (ФИП) методом этерификации орто-фосфорной кислоты (ОФК) полипропиленгликолем и триэтаноламином, которые были использованы в качестве разветвлённого ионогенного компонента для получения полиуретановых иономеров. Установлено, что каталитическое действие триэтаноламина приводит к неполной этерификации ОФК, что обуславливает присутствие ионогенных фосфат-анионов в структуре полученных полиолов. Исследования показали прямую зависимость скорости диффузии молекул воды от концентрации фосфат-ионов в полиуретановых матрицах на основе синтезированных полиолов, что объясняется явлением кластеризации ионных групп при совместном использовании с полиоксипропиленгликолем.

**Список литературы:**

- [1] Krol, P, Krol, B. Journal Mater. Sci. **55**, 73, (2020).  
[2] Krol B., Pielichowska K., Krol P., Kedzierski M., Prog. Org. Coat. **130**, 83, (2019).

**Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 25-23-00003).*

### 3-О-11

## РАЗРАБОТКА СУСПЕНЗИЙ НА ОСНОВЕ ДИ(МЕТ)АКРИЛАТА БУТАНДИОЛА, НАПОЛНЕННЫХ $\text{Al}_2\text{O}_3$ , ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИКИ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ DLP

Киянкин П.А.<sup>1</sup>, Котельникова А.А.<sup>2</sup>, Ковылин Р.С.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
г. Нижний Новгород*

<sup>2</sup>*Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева  
Российской академии наук, Нижний Новгород, Россия  
roman@iomc.ras.ru*

Керамика из альфа-корунда сложной геометрии востребована в отраслях, где необходимо сочетание прочности, термической и химической устойчивости. Применение таких керамических изделий охватывает области от микроэлектроники до аэрокосмической промышленности, а технологии 3D-печати расширяют возможности создания нестандартных форм и размеров. Одним из перспективных способов изготовления керамики сложной формы является DLP стереолитография. К исходным фотополимеризующимся супензиям для получения 3D модели предъявляется ряд требований: высокое содержание неорганического наполнителя (не менее 50 об. %), низкая вязкость, агрегативная устойчивость и высокая скорость отверждения слоя (до 30 с). Настоящее исследование направлено на изучение влияния компонентов УФ-отверждаемой супензии на кинетику полимеризации 1,4-бутандиол диметакрилата (БДМА) и 1,4-бутандиол диакрилата (БДДА) в присутствии 50 об. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Установлено, что введение частиц  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в композицию на основе БДДА снижает максимальную приведённую скорость ( $W_{\text{пр}}$ ) процесса полимеризации в 2.5 раза с 0.125 до 0.050  $\text{с}^{-1}$  по сравнению с чистым мономером. Для БДМА  $W_{\text{пр}}$  полимеризации увеличивается в 1.5 раза с 0.013 до 0.020  $\text{с}^{-1}$ . Добавление в БДДА 5 масс.% диспергатора 3-аминопропил триэтоксисилана (KH550) без частиц  $\text{Al}_2\text{O}_3$  приводит к уменьшению  $W_{\text{пр}}$  до 0.055  $\text{с}^{-1}$ . Введение в композицию на основе БДДА диспергатора RH180 (алкиламмониевая соль сополимера с кислотными группами) снижает  $W_{\text{пр}}$  в 1.2 раза с 0.050 до 0.042  $\text{с}^{-1}$ . Значения  $W_{\text{пр}}$  для наполненных супензий на основе БДДА с добавками KH550 и RH180 составили 0.026 и 0.024  $\text{с}^{-1}$ , соответственно. Установлено, что при введении RH180 в наполненные композиции на основе БДДА максимальные значения  $W_{\text{пр}} = 0.042 \text{ с}^{-1}$  наблюдаются при 3 масс.% фотоинициатора 2,2-диметокси-2-фенилацетофенона (ДМФА), а для БДДА – 0.031  $\text{с}^{-1}$  при 5 масс.% ДМФА. Таким образом показано что с кинетической точки зрения из исследованных композиций наиболее оптимальной для процесса 3D печати методом DLP является супензия, состоящая из 50 об.%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и 50 об.% БДДА с добавкой 5 масс.% диспергатора RH180 и 3 масс.% фотоинициатора ДМФА.

### Благодарности

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

### 3-О-12

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЕРФТОРИРОВАННЫХ МЕМБРАН, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИВИНИЛОВЫМ СПИРТОМ, СШИТЫМ СУЛЬФОСУКЦИНОВОЙ КИСЛОТОЙ

Вавилова В.Д.<sup>1</sup>, Примаченко О.Н.<sup>1</sup>, Мариненко Е.А.<sup>1</sup>, Кононова С.В.<sup>1</sup>,  
Клечковская В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константина  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Отделение “Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова” Курчатовского  
комплекса “Кристаллография и фотоника” НИЦ “Курчатовский институт”,  
г. Москва  
tao232698916@mail.ru*

Исследования в области полимерных композиционных мембран, применяемых в качестве электролитов в составе топливных элементов различного типа, направлены на модификацию их химической структуры с целью повышения физико-химических, электрофизических, диффузионных свойств, термической и деградационной стабильности, баланса влагоудержания мембранами при повышенных температурах. Поливиниловый спирт (ПВС) является одним из перспективных органических модификаторов для протонообменных мембран (ППМ) за счёт высокой гидрофильности и способности удерживать воду при высоких температурах. Сшивка ПВС поперечными связями позволяет регулировать влагосодержание, степень набухания, термическую, химическую и механическую стабильность полимера в составе композита. Перспективным направлением при сшивке ПВС для ППМ является использование сульфосукциновой кислоты (ССК), позволяющей вводить в состав композита дополнительные сульфокислотные группы, не участвующие в процессе сшивки и позволяющие увеличивать ионообменную емкость композита [1].

В данной работе было исследовано влияние сшитого сульфосукциновой кислотой ПВС на структуру и свойства композиционных мембран из отечественного перфторированного сополимера – аналога Nafion – и ПВС. Увеличение количества сшитого ПВС в мемbrane приводит к повышению протонной проводимости. Степень кристалличности композитов зависит от доли сшивающего агента. Морфология поверхностей мембран, полученных методом полива, существенно различается: нижняя поверхность имеет однородную микроструктуру, а верхняя – трехмерные складчатые структуры. Согласно данным энергодисперсионного анализа, химическое строение внутренних слоев композиционной мембраны отличается у образцов с различным соотношением ССК к ПВС, что иллюстрирует профиль распределения фтора по толщине мембран.

#### **Список литературы:**

- [1] Primachenko O.N., Marinenko E.A., Gubanova G.N. et al. // Russ. J. Gen. Chem. 2024. V. 94. P. 853.

**ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ БИОДЕСТРУКЦИИ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРОВ**

Подзорова М.В.<sup>1,2</sup>, Тертышная Ю.В.<sup>1,2</sup>, Суханов И.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, г. Москва*

<sup>2</sup>*Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля РАН, г. Москва*

*mariapdz@mail.ru*

Глобальный экологический кризис, вызванный накоплением пластиковых отходов, требует разработки полимерных материалов с контролируемой биоразлагаемостью. Например, мульчирование пластиковой пленкой может эффективно повысить урожайность сельскохозяйственных культур. Несмотря на преимущества в растениеводстве, остатки мульчи из полиэтиленовой пленки вызывают все больше экологических проблем, поскольку фермеры предпочитают оставлять остатки пластиковых пленок на поле или сжигать их, что приводит к проблемам экологического характера [1-3].

В данной работе исследования проводились на пленочных образцах на основе полибутиленадипаттерефталата (ПБАТ) марки TH801T (Shanghai Hengsi New Material Science, Китай), поликаапролактона (ПКЛ) (Полиморфус (ESUN 600C), Китай) с добавлением вторичного полиэтилена низкой плотности. Содержание ПКЛ в матрице составляло 30 мас. %.

Теплофизические характеристики и изменения структуры после 28-дневной инкубации в почве анализировали методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и инфракрасной спектроскопии (ИК). Установлено, что добавка вторичного полиэтилена замедляет процесс деструкции, однако матрицы ПБАТ и ПКЛ эффективно подвергаются биодеструкции, что отмечается визуально. Говоря про биодеструкцию ПКЛ можно отметить, что реакция деструкции, катализируемая ферментами, представляется решением для ускорения распада ПКЛ. Методом ДСК показано повышение температуры плавления и степени кристалличности компонентов, особенно ПКЛ, что свидетельствует о деструкции материала. ПБАТ также эффективно подвергается биодеструкции и в связи с присутствием водной среды, также происходит его гидролиз. Методом ИК-спектроскопии после инкубации в почве отмечаются значительные изменения. Особенно заметно изменения в области 1600-1000  $\text{cm}^{-1}$ , данный факт может указывать на разрушение матрицы как ПБАТ, так и ПКЛ. Важно отметить, что гидролитическая деструкция также оказывает значительное влияние на полимерные материалы в почвенной среде. Полученные результаты способствуют разработке биоразлагаемых композитов с предсказуемым поведением в природных условиях.

**Список литературы:**

- [1] Подзорова М.В., Тертышная Ю.В. Все материалы. Энциклопедический справочник. **4**, 15–20 (2024).
- [2] Тертышная Ю.В., Подзорова М.В. Все материалы. Энциклопедический справочник. **5**, 2–9 (2025).
- [3] França D. C., Morais D. D., Bezerra E. B., Araújo E. M., Wollen R. M. R. Materials Research, **21** (5) e20170837 (2018).

**КОМПОЗИТЫ ПОЛИЛАКТИД – МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИЕ  
КАРКАСЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ  
ГАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ**

Гогунов М.Е.<sup>1</sup>, Соловьева А.В.<sup>1</sup>, Погоцкая Г.А.<sup>2</sup>, Пулялина А.Ю.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Филиал ФГБОУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.*

*Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский  
институт» – Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург*

<sup>3</sup>*ФИЦ Кольский Научный Центр Российской Академии наук, г. Апатиты*

*st133648@student.spbu.ru*

Одними из центральных задач промышленности являются разделение газовых смесей и выделение газовых отходов. Это актуально для решения ряда задач: получения газов медицинского назначения, отделения примесных кислых газов как промышленных отходов, извлечение CO<sub>2</sub> для предотвращения пагубного влияния на окружающую среду и развития парникового эффекта.

Оптимальным методом решения данных задач является мембранные газоразделение – быстроразвивающийся энергоэффективный процесс, в ходе которого происходит разделение газовых смесей через селективно проницаемые полимерные мембранны под действием градиента давлений по обе стороны мембран [1].

Одной из основных целей мембранных газоразделений является разработка новых мембранных материалов, подходящих под актуальные промышленные задачи. В этом плане полимерные мембранны являются одним из приоритетных направлений. В данной работе в качестве матричного полимера был выбран полилактид (ПЛА) – биоразлагаемый природный полимер, добываемый из возобновляемых источников, что соответствует концепции устойчивого развития. Для создания новых материалов перспективно использовать различного рода наполнители. Одними из оптимальных для газоразделения являются металлоорганические каркасы, обуславливающие селективность к газам ввиду оптимизации физико-химических свойств при встраивании в структуру полимера.

В данной работе были получены гибридные мембранны, на основе полилактида, содержащие два вида изоструктурных каркасов MAF-5 и MAF-6. Определены основные физические параметры полученных мембранны: углы смачивания, рассчитан свободный объем, исследована морфология при помощи сканирующей электронной микроскопии. Изучены транспортные свойства композитов методом мембранных газоразделений. Установлено, что композиты, содержащие наполнители, показали повышенную проницаемость по отношению к CO<sub>2</sub>. Значения идеальной селективности указывают на потенциал применения композитов для разделения газовых смесей состава He/N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>.

**Список литературы:**

[1] Alentiev A., Ryzhikh V., Syrtsova D., Belov N. Russian Chemical Reviews **92** (6) 5083 (2023).

**Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке СПбГУ, шифр проекта 131065423*

### 3-О-15

## ГИБРИДНАЯ МЕМБРАНА ИЗ СОПОЛИИМИДА С ДОБАВКАМИ ТИТАНОСИЛИКАТНОГО МИНЕРАЛА

Мухин А.Е.<sup>1</sup>, Калашникова Г.О.<sup>2</sup>, Пулялина А.Ю.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>*ФГБОУ Санкт-Петербургский Государственный Университет, Институт  
Химии, Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Центр наноматериаловедения Кольского научного центра Российской Академии  
Наук, Апатиты  
st098205@student.spbu.ru*

Мембранные газоразделение успешно развивается для решения задач химической и нефтеперерабатывающей промышленности и требует разработки новых высокоеффективных мембран. В данной работе создана гибридная мембрана на основе промышленного сополииимида Р84 {(сополииimid 3,3',4,4'-бензофенонетракарбонового диангидрида и (80% толуолдиизоцианата + 20% метилендифенилдиизоцианата)} (соСИ) с использованием добавок нового модификатора - титаносиликатного минерала натисит  $\text{Na}_2\text{TiO}(\text{SiO}_4)$  (ММ = 202; плотность 3.15 г/см<sup>3</sup>), который является цеолитоподобным соединением с открытой и жесткой каркасной структурой. Материал мембраны - композит соСИ/натисит (5 масс. %), приготовленный в растворе диметилформамида, был использован для получения плоской пленочной мембраны. Особенности физико-химических, механических и газотранспортных свойств гибридной мембраны соСИ/натисит изучены при сравнении с соСИ мембраной. Включение 5 масс.% натисита, приводит к увеличению плотности и уменьшению доли свободного объема в гибридной мембране.

Транспортные свойства оценивали по проницаемости He, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> через мембрану. Величина проницаемости газов через гибридную мембрану оказалась ниже, по сравнению с мембраной из чистого соСИ, а селективность разделения пар газов H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> повысилась за счет включения модификатора натисит. Исследование деформационных характеристик показало, что введение небольшого количества добавок не приводит к существенному изменению механических свойств соСИ мембраны. Физико-механические свойства исследованной мембраны соСИ/натисит(5%) отвечают требованиям технологичности и могут успешно применяться в процессах газоразделения.

### Благодарности

Авторы выражают признательность Российскому научному фонду (грант № 24-23-00374).

## **СЕКЦИЯ 3**

### ***ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ***

#### **СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

### **3-Р-01**

## **ТЕХНОЛОГИЯ ЗД ПЕЧАТИ ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИДОМ**

Биккинин М.А.<sup>1</sup>, Романов С.Н.<sup>1</sup>, Ларионов И.С.<sup>1,2</sup>, Балькаев Д.А.<sup>1</sup>,  
Амирова Л.М.<sup>2</sup>, Антипин И.С.<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Химический институт им. А.М. Бутлерова, КФУ*

*<sup>2</sup>Институт авиации, наземного транспорта и энергетики, КНИТУ-КАИ  
им. А.Н. Туполева  
maratbikkinin2@gmail.com*

Технология 3D-печати представляет собой многофункциональный и передовой технологический этап, делающий доступными новые возможности для производства готовой продукции в краткие сроки.

В качестве филамента может применяться полифениленсульфид. Он представляет собой полукристаллический суперконструкционный термопласт, обладающий высокой прочностью, повышенной жесткостью, химической стойкостью, природной негорючестью, отличными электроизоляционными свойствами. Как видно из свойств, обозреваемый материал является перспективным для множества отраслей промышленности, среди которых, в том числе: электронная аппаратура, транспортные средства, авиастроение, космонавтика [1].

Добавление стекловолокна позволяет улучшить механические свойства термопласта и расширить диапазон его применения. Стекловолокно также обладает высокой химической стойкостью, что позволяет изготавливать композит, который может работать в условиях агрессивных сред.

В данной работе использовался ПФС производства ООО «НТЦ «Ахмадуллины»» и стеклянное волокно ЕС-13-4,5мм-А42 от компании Татнефть. Компаундирование проводилось на двухшинковом экструдере Scientific LTE 16 – 40. Филамент изготавливается на экструзионной линии Welber EXL-25.

Были изготовлены филаменты белого и черного цвета. Для филамента черного цвета применялся органический краситель. Образцы формы двойная лопатка и брусков на 3D принтере Picaso Designer XL PRO S 2. Испытания на определение теплофизических свойств (дифференциальная сканирующая калориметрия) проводились на DSC 214 Polyma NETZSCH в режиме нагрев до 320 °C со скоростью 10 °C /мин – охлаждение до 25 °C со скоростью 10 °C /мин. Испытания на растяжение и изгиб полученных образцов проводились на универсальной испытательной электромеханической машине УТС-111 с клиновинтовыми захватами и со скоростью деформации 5 мм/мин.

В результате работы были изучены свойства филаментов двух составов, подобраны условия для печати, напечатаны изделия для механических испытаний, проведены испытания на растяжения и статический изгиб. По итогам испытаний филамент с добавлением красителя показал наименьшее значение механических характеристик, что связано с влиянием красителя на полимерную структуру.

### **Список литературы:**

[1] Peng Geng, Ji Zhao, Wenzheng Wu, Yulei Wang, Bofan Wang, Shuobang Wang, Guiwei Li. Polymers. Т. 10. – №. 8. – С. 875. (2018)

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИОЛЕФИНОВЫХ ДОБАВОК НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА В РАСТИТЕЛЬНОМ МАСЛЕ УДАРОПРОЧНОГО ПОЛИСТИРОЛА

Бойченко Е.А.<sup>1,2</sup>, Бурмистров И.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, г. Москва*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва  
elenा.boychenko.sar@gmail.com*

В настоящее время набирает популярность разработка отечественных качественных материалов и модификаторов материалов для производства различной бытовой и промышленной техники. Одной из актуальных проблем является повышение маслостойкости ударопрочного полистирола (УППС), который применяется при изготовлении внутренних корпусов холодильных камер. Растрескивание последних при попадании растительного масла представляет большие проблемы для эксплуатации техники.

В работе представлено исследование влияния добавок такого полиолефина в ударопрочный полистирол, как сополимер полиэтилена и 1-октена в различных концентрациях, а также изучение строения полученной смеси с помощью сканирующих электронной микроскопии (рисунок 1).

По результатам исследования было определено, что добавки вышеописанного полиолефинового полимера в конценотации повышает относительное удлинение при разрыве в среде растительного масла. При чем наиболее эффективной является добавка 5 %масс.

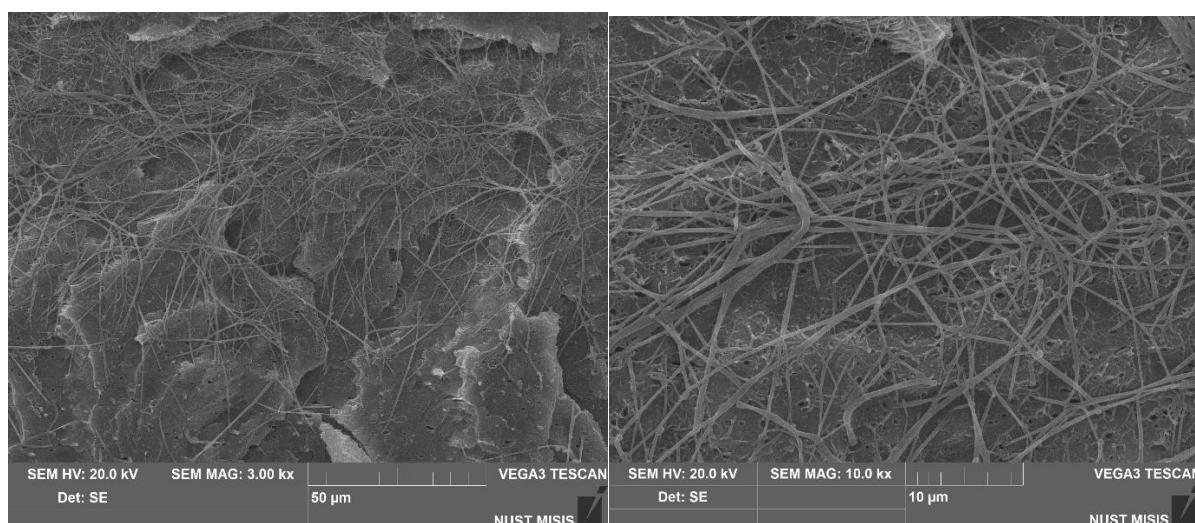


Рис. 1 - Микрофотографии образца УППС – 95% , полиолефиновая добавка – 5% с разным увеличением.

### **3-Р-03**

## **ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СВЕТОДИОДОВ С ИЗЛУЧАЮЩИМ СЛОЕМ, СОДЕРЖАЩИМ УГЛЕРОДНЫЕ КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ**

**Бородина А.М.<sup>1</sup>, Костромин С.В.<sup>1</sup>, Саяров И.Р.<sup>2</sup>, Тамеев А.Р.<sup>2</sup>, Бронников С.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, г. Москва  
[anastasia\\_2998@mail.ru](mailto:anastasia_2998@mail.ru)*

Углеродные квантовые точки (УКТ) хронологически являются последними известными представителями углеродных наночастиц и обладают рядом ценных свойств. Их отличительными качествами является настраиваемая фотолюминесценция (ФЛ), высокая фотостабильность, нетоксичность и возможность переработки в растворе, что обуславливает их использование в качестве материалов в технологии органических светодиодов (ОСД) [1].

В данном исследовании путем гидротермального синтеза были получены азотсодержащие УКТ (N-УКТ) с квантовым выходом ФЛ 36.5% [2]. N-УКТ были использованы в качестве наполнителей светоизлучающего слоя (поли-4-бутилтрифениламин (Р-TPD)) в ОСД со структурой ITO/PEDOT:PSS/P-TPD@N-УКТ/TPBI/LiF/Al [1]. Полученные ОСД были охарактеризованы с помощью электролюминесцентной (ЭЛ) спектроскопии. Определение электронных характеристик слоев N-УКТ в композите Р-TPD@N-УКТ было выполнено с помощью циклической вольтамперометрии и измерения вольт-амперной характеристики в режиме тока, ограниченного объемным зарядом. Обнаружено, что подвижность дырок в пленке композита с 30 масс.% N-УКТ имеет порядок  $10^{-6} \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ .

Путем варьирования содержания N-УКТ (от 12 до 30 масс.%) в композите и приложенного напряжения (от 8 до 22 В) к ОСД было достигнуто расширение ЭЛ спектра и смещение его максимума к эталонному белому свету. Это свидетельствует об эффективности использования N-УКТ в качестве допанта светоизлучающего слоя ОСД.

#### **Список литературы:**

- [1] Shi Y., Su W., Yuan F., Yuan T., Song X., Han Y., Wei S., Zhang Y., Li Y., Li X., Fan L. *Adv. Mater.* **35**, 2210699 (2023).  
[2] Kostromin S., Borodina A., Pankin D., Povolotskiy A., Bronnikov S. *Chem. Phys. Lett.* **841**, 141175 (2024).

**ТРЕХМЕРНЫЕ БИОПОЛИМЕРНЫЕ СКАФФОЛД-МАТРИКСЫ,  
ОБОГАЩЕННЫЕ НАНОЧАСТИЦАМИ ОСТЕОТРОПНЫХ  
МИКРОНУТРИЕНТОВ**

Блинов А.В., Русев Н.А., Бочаров Н.М., Андиралов А.Ю., Лазырин М.Е.

*Северо-Кавказский Федеральный Университет, г. Ставрополь*  
*bochatmocha26@yandex.ru*

Костные переломы часто встречаются во врачебной практике, а процесс остеосинтеза довольно трудоёмкий для человеческого организма. Существует множество методов сращивания костных тканей, однако большинство из них предполагают лишь скрепление костей в статичном положении при помощи металлических прутьев или пластин, без внедрения вспомогательных смесей. Использование биополимерных матриц на основе целлюлозы, модифицированных карбонатами эссенциальных микроэлементов, является очень перспективным направлением исследований, так как пористая структура таких матриц схожа со структурой костей, а внедрение карбонатов различных металлов, которые входят в состав костной ткани, позволит облегчить и ускорить процесс остеосинтеза.

На текущем этапе проведены исследования следующими методами: рентгенофазовый анализ, ИК-спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии с элементным составом отдельно карбонатов меди, магния, марганца, цинка и кальция стабилизованных ВМС. Синтезированы биополимерные матрицы на основе смесей гидроксиэтилцеллюлозы, метилцеллюлозы и хитозана. Матрицы исследовались теми же методами, дополнительно проводились исследования кислотно-основных и структурно-механических свойств, а также исследованы набухаемость и пористость матриксов. В текущий момент проводятся медико-биологические исследования биополимерных скаффолд-матриксов, обогащенных наночастицами остеотропных микронутриентов, включающие в себя токичность, биоразлагаемость и биосовместимость. В ближайшее время планируется начать серию опытов по испытанию матриксов на реальных костных переломах у кроликов.

**Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FSRN-2023-0037).*

### **3-Р-05**

## **ПОЛИУРЕТАНОВЫЕ ПЛЕНКИ, ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ СМЕСЕЙ ГИДРОКСИПРОПИЛЦЕЛЛЮЗЫ С ДИИЗОЦИАНАТОМ В ОБЩЕМ РАСТВОРИТЕЛЕ ДИМЕТИЛАЦЕТАМИДЕ**

**Буслаев Д.Л., Власова Е.Н., Курындин И.С., Бочек А.М.**

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
buslaev91@gmail.com*

В последние годы увеличивается количество публикаций, посвященных полиуретанам, в состав которых входят полисахариды (целлюлоза, крахмал, циклодекстрин, хитин, альгинаты). Представляет научный и практический интерес синтез полиуретанов, в которых в качестве гидроксилсодержащего полимера (компоненты) будет использован органорасторимый эфир целлюлозы с достаточным количеством незамещенных ОН-групп.

Получены полиуретановые пленки на основе смесей гидроксипропилцеллюзы (ГПЦ) с полипропиленгликolem с концевыми группами, замещенными 2,4–толуилендиизоцианатом (ППГ\*), из растворов в диметилацетамиде. С помощью метода Фурье ИК – спектроскопии подтвержден факт взаимодействия ОН-групп макромолекул эфира целлюлозы с молекулами дизоцианата с образованием уретановой группы и изучены механические характеристики полученных пленочных материалов.

Показано, что введение более 64 %масс. ППГ\* приводит к образованию отдельных сшитых структур не образующих пленки, поэтому механические характеристики получены только для образцов с меньшим содержанием ППГ\*. На деформационных кривых на разрыв наблюдается последовательное изменение качественного характера процесса деформирования материала. Для пленки исходной ГПЦ, как и для других эфиров целлюлозы, характерен пластический характер деформирования: на кривой присутствует выраженный предел пластичности в виде максимума напряжения, далее при растяжении образуется шейка. При дальнейшем растяжении наблюдается медленный, растянутый переход к участку деформационного упрочнения материала. По мере роста концентрации ППГ\* предел текучести  $\sigma_t$  выражен на кривых все слабее. Установлено, что введение молекул дизоцианата (ППГ\*) в матрицу гидроксипропилцеллюзы приводит к последовательному снижению модуля упругости  $E$ , предела текучести  $\sigma_t$ , предела прочности  $\sigma_b$  и предельной деформации до разрушения  $\varepsilon$ , хрупкости пленок не наблюдается. Снижение всех механических характеристик с ростом концентрации введенного ППГ\* вызвано, по-видимому, последовательной гетерогенизацией материала и накоплением в нем внутренних напряжений.

### **Благодарности**

*Работа выполнена в рамках гос. задания по теме № 124013000726-6.*

### 3-Р-06

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИСТИРОЛА И УГЛЕРОДНЫХ НАНОНАПОЛНИТЕЛЕЙ

Виноградова В.О.<sup>1,2</sup>, Николаева М.Н.<sup>1</sup>, Бугров А.Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Филиал НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ-ИВС, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, г. Санкт-Петербург

*nika-vinograd@mail.ru*

Методом радикальной полимеризации синтезированы два вида композитов на основе полистирола (ПС) с углеродными наполнителями, в качестве которых выбраны многослойный восстановленный оксид графена (ВОГ) и одностенные углеродные нанотрубки (ОСУНТ). Перед синтезом поверхность углеродных наполнителей модифицировали 3-(триметоксисилил)пропил метакрилатом [1] с целью создания ковалентных связей между ними и макромолекулами ПС. Поверхностно-модифицированные углеродные нанонаполнители вводились в количестве 1 масс.% в полистирольную матрицу в ходе радикальной полимеризации стирола *in-situ*. В качестве инициатора использовали азобisisобутиронитрил, полимеризацию проводили в толуоле при 70°C на протяжении 20 часов, периодически обрабатывая реакционную смесь ультразвуком. Полученные композиты высаживали в этиловый спирт и сушили до постоянного веса. Кроме этого, были получены композиты, включающие аналогичное количество ВОГ и ОСУНТ, но без предварительной функционализации их поверхности метакрилатными группами. Для всех полученных составов композитов были измерены вольтамперные характеристики. Для этого 1%-ные растворы композитов в бензоле наносили на медные пластины диаметром 0.5 см<sup>2</sup>. Измерения проводили четырехзондовым методом с использованием 2 токовых и 2 зондовых электродов. Абсолютные значения сопротивления ( $R$ ) для композитов, в которых ВОГ был химически связан с ПС в результате синтеза, оказались на 2 порядка ниже, чем случае их механической смеси, ~0.25 Ω и ~20 Ω, соответственно. Такой результат коррелирует с данными, представленными в [2]. Похожая тенденция была отмечена и для композитов с ОСУНТ. Пленки композита, где в процессе синтеза метакрилатные группы на поверхности ОСУНТ вступали во взаимодействие со стиролом, имели значения  $R$  в пределах 0.8-1.2 kΩ. В то же время пленки, полученные полимеризацией стирола в присутствии немодифицированных ОСУНТ, имели  $R \sim 9$  kΩ. Такая разница в величинах  $R$  может быть связана с образованием ковалентных связей между ПС и углеродными наполнителями в результате процесса полимеризации. По-видимому, химические связи способны вызывать деформацию и сдвиги углеродных слоев, что, в свою очередь, может изменять электронную структуру исследуемых углеродных наполнителей [2].

#### Список литературы:

- [1] Bugrov A.N., Vlasova E.N., et. al. Polymer Science, Ser. B, **54** (9–10), 486 (2012).  
[2] Николаева М.Н., Бугров А.Н. и др. Журнал Прикл. Хим., **87** (8), 1172 (2014).

#### Благодарности

Работа выполнена по теме «Полимерные и композиционные материалы для перспективных технологий», регистрационный номер проекта 124013000726-6.

## **ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК НА ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИФЕНИЛЕНОКСИДА**

Карпухин О.Р.<sup>1</sup>, Никитин А.П.<sup>1</sup>, Бородина А.М.<sup>2</sup>, Пулялина А.Ю.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>*ФГБОУ Санкт-Петербургский Государственный Университет, Институт Химии, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Филиал ФГБОУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константина» – Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург*

<sup>3</sup>*Центр наноматериаловедения Кольского научного центра Российской Академии Наук, Апатиты  
olegg.karpihinn@gmail.com*

Мембранные технологии являются актуальным направлением в области разделения и очистки веществ. Важным преимуществом данных методов является высокая экологичность и низкая стоимость относительно традиционных методов, реализующихся для решения подобных задач [1].

В настоящей работе поли(2,6-диметил-1,4-фениленоксид) (ПФО) был модифицирован включением добавок гидрофобных N-допированных углеродных квантовых точек (N-УКТ), которые были получены посредством гидротермального синтеза. Материалы с использованием углеродных квантовых точек (УКТ) находят широкое применение в различных областях, в том числе в сфере мембранныго разделения [2]. Структура, физико-механические и транспортные свойства композитов с N-УКТ были исследованы в сравнении со свойствами образца пленки ПФО.

Для изучения характера структурных изменений была определена плотность пленок ПФО с различным содержанием N-УКТ, рассчитан их свободный объем и коэффициент молекулярной упаковки. Показано, что включение добавок N-УКТ приводит к увеличению плотности пленок, то есть к компактизации структуры, что приводит к уменьшению свободного объема в планках на основе композитов, содержащих N-УКТ.

Газоразделительные свойства пленок на основе ПФО и ПФО/N-УКТ оценивали по результатам измерения их проницаемости для отдельных газов He, O<sub>2</sub>, и N<sub>2</sub>, а также на основе анализа селективности газоразделения. Установлено, что с увеличением содержания N-УКТ в композитах, коэффициенты проницаемости всех газов несколько уменьшаются, однако это приводит к возрастанию селективности разделения, в частности при выделении кислорода из воздуха.

Вышеупомянутые результаты имеют высокую ценность не только в рамках академического исследования, но и имеют перспективу практической реализации подобных материалов для актуальных задач в области промышленности и экологии.

### **Список литературы:**

- [1] Lonsdale H. K. *The growth of membrane technology //Journal of membrane science.* **10**, 81-181 (1982).
- [2] Zhao D. L., Chung T. S. *Applications of carbon quantum dots (CQDs) in membrane technologies: A review //Water research.* **147**, 43-49 (2018).

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА МНОГОЭТАПНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ  
МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА ДЛЯ СОЗДАНИЯ  
БИОАКТИВНЫХ ИМПЛАНТАТОВ**

Никифоров А.А.<sup>1</sup>, Степанова М.А.<sup>1</sup>, Назаров Д.В.<sup>2</sup>, Максимов М.Ю.<sup>2</sup>,  
Нащекина Ю.А.<sup>3</sup>, Власова Е.Н.<sup>1</sup>, Коржикова-Влах Е.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константина  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –*

*Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>3</sup>*Институт цитологии Российской академии наук, г. Санкт-Петербург  
anikiforov71@gmail.com*

Титан и его сплавы находят широкое применение в дентальной и ортопедической имплантологии благодаря высокой биосовместимости, коррозионной устойчивости и благоприятному соотношению прочности и плотности. Однако их эффективность ограничена вследствие недостаточной остеointеграции, что может приводить к фиброзной инкапсуляции и образованию биопленок, вызванных бактериальным загрязнением. Это нередко становится причиной клинических осложнений и необходимости повторных операций. Одним из перспективных направлений решения этой проблемы является химическая модификация поверхности титана с целью усиления клеточной адгезии и придания антибактериальных свойств.

В данной работе предложен подход к многослойной модификации поверхности титановых матриц, полученных методом селективного лазерного спекания. Приповерхностный слой матриц подвергался модификации путём ковалентного связывания четырёх слоёв биосовместимого поли-L-лизина. Полученный материал с использованием метода термически индуцированного разделения фаз был внедрён в объём супермакропористой матрицы на основе полилактида, содержащей коньюгат GRGDSP-пептида с поли-L-глутаминовой кислотой. Введение данного коньюгата было направлено на улучшение клеточной адгезии и остеоинтеграции поверхности композиционного материала.

Эффективность поверхностной модификации титана на каждой стадии процесса подтверждалась на модельных пластинах из титана марки ВТ-1-0, а также монокристаллического кремния с помощью ИК-спектроскопии, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, эллипсометрии и измерения краевого угла смачивания. Биосовместимость полученных материалов оценивали *in vitro* с использованием теста МТТ и остеобластоподобных клеток линии MG-63, а также исследования кальций-фосфатной биоминерализации.

**Благодарности**

*Работа выполнена в рамках государственного задания № 1023031700036-2-1.4.4.*

## **ВЛИЯНИЕ ГРАФЕНОВОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ**

Рахманов А.А.<sup>1</sup>, Бугров А.Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Филиал НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИВС,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

*andrey.rkh@yandex.ru*

Существующие полимерные материалы, применяемые в актуаторах для робототехники, имеют невысокую плотность и прочность, в связи с чем не обеспечивают приемлемого усилия взаимодействия с внешней средой при работе актуатора. Для повышения этих характеристик предполагается использовать наполнители с электрической проводимостью, наиболее актуальный из них – графен. При добавлении 1.5% графена в полимер, создаются прекляционные кластеры, которые увеличивают прочность композиции, а также ее электро- и теплопроводность. Так же, такие композиции можно использовать для создания защитных демпфирующих покрытий, так как графеновые кластеры хорошо распределяют энергию удара в полимерной матрице, увеличивая прочность покрытия до 40%.

В данной работе рассматривалась возможность получения графена из графита различных марок, а также сравнение полученных материалов методом расщепления в кислотах, с коммерческим графеном. Так же, используя графеновый наполнитель в силоксановых и полимочевинной полимерных матрицах, рассмотрим изменения физико-механических характеристик этих полимеров.

### **3-Р-10**

## **АНАЛИЗ ПОДВЕРЖЕННОСТИ ФОТОДЕСТРУКЦИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРОВ**

Подзорова М.В.<sup>1,2</sup>, Тертышная Ю.В.<sup>1,2</sup>, Суханов И.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, г. Москва*

<sup>2</sup> *Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля РАН, г. Москва*

*mariapdz@mail.ru*

Полимерные материалы используются для различных целей, особенно в упаковочной промышленности, однако большинство этих материалов в настоящее время вызывают серьезные проблемы с утилизацией отходов. Сосредоточившись на потенциальных решениях этой проблемы, исследователи обратили внимание на биоразлагаемые полимеры [1]. Одним из широко изученных полиэфиров является полилактид (ПЛА), а также среди биоразлагаемых полимеров внимание уделяется поли( $\epsilon$ -капролактону) (ПКЛ), который представляет собой линейный алифатический полукристаллический полиэфир [1, 2].

Фотодеградация полимеров представляет серьезную проблему для их применения и приводит к значительным финансовым потерям из-за преждевременного или неожиданного выхода из строя. Лучшее понимание кинетики их разложения помогает совершенствовать материалы для их применения в промышленности.

В данной работе исследования проводились на пленочных образцах на основе полибутиленадипаттерефталата (ПБАТ) марки TH801T (Shanghai Hengsi New Material Science, Китай) и полилактида (ПЛА) (4043D, Nature works, США) с добавлением поликапролактона (ПКЛ) (Полиморфус (ESUN 600C), Китай). Содержание ПКЛ в матрице ПБАТ и ПЛА составляло 0, 10 и 20 мас. %.

В основном фотодеградация пленок ПКЛ протекает по механизму объемной эрозии с серьезными нарушениями удлинения при разрыве, отмечается, что эффекты проявляются глубже в аморфных областях, таким образом, ультрафиолетовое излучение значительно повышает степень кристалличности ПКЛ [3]. Для полилактида фотодеструкция протекает по механизму Норриша II, происходит разрушение как аморфной, так и кристаллической фазы со снижением степени кристалличности.

Анализ смесей после воздействия УФ-излучения (100 часов,  $\lambda = 254$  нм) методами ДСК и ИК-спектроскопии показал, что температура плавления и степень кристалличности ПЛА снижается на 17-20 °С и 18-22 % соответственно в зависимости от состава смеси, у ПКЛ данные показатели наоборот повышаются. На ИК-спектрах отмечаются изменения в областях 3300 см<sup>-1</sup> и 1700-1500 см<sup>-1</sup>.

### **Список литературы:**

- [1] Tertyshnaya Y., Podzorova M., Moskovskiy M. Polymers. **13** (3), 461 (2021).
- [2] Подзорова М.В., Тертышная Ю.В., Колесникова Л.А., Кондрев В.С., Якубова Л.Ю. Все материалы. Энциклопедический справочник. **6**, 25–32 (2025).
- [3] França D. C., Moraes D. D., Bezerra E. B., Araújo E. M., Wollen R. M. R. Materials Research, **21** (5) e20170837 (2018).

### **3-Р-11**

## **ПОЛУЧЕНИЕ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИДА**

**Хасанов К.А.<sup>1</sup>, Леушкин П.Н.<sup>1</sup>, Зимин К.С.<sup>1,2</sup>, Ларионов И.С.<sup>1,2</sup>, Балькаев Д.А.<sup>1</sup>,  
Амирова Л.М.<sup>2</sup>, Антипин И.С.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Химический институт им. А.М. Бутлерова, КФУ*

*<sup>2</sup>Институт авиации, наземного транспорта и энергетики, КНИТУ-КАИ  
им. А.Н. Туполева  
tiptarnk@gmail.com*

Полифениленсульфид (ПФС) – это полукристаллический суперконструкционный полимер, обладающий хорошими физико-механическими свойствами, в частности высокой химической стабильностью и стабильностью размеров даже при относительно высоких температурах. Из-за чего он применяется во многих областях промышленности.[1]

Работа затрагивает важное направление разработок в области суперконструкционных материалов. Её практическое значение обусловлено проблемой импортозамещения такого важного пластика, как ПФС.

ПФС обладает широким диапазоном текучести из-за чего его можно переработать в различные материалы, в том числе плёнки.

Пленочные материалы на основе ПФС применяются в качестве фильтров при изготовлении топливных систем и систем охлаждения. Активно используются в качестве изоляционного материала для электротехнических приборов. Применяются при изготовлении конструкционных композиционных материалов.

В работе использовался линейный ПФС производства ООО «НТЦ «Ахмадуллины»». Для регулирования свойств полимера применялись различные органические антиоксидантные и нуклеаторы. Смешение компонентов проводилось на двухшnekовом экструдере Scientific LTE 16–40. Пленочные материалы были получены на экструзионной линии Welber EXL-25.

В результате получены плёнки толщиной 70–150 мкм. Испытания на растяжение проводились на универсальной испытательной электромеханической машине УТС-111 с клиновинтовыми захватами и со скоростью деформации 5 мм/мин. Также теплофизических свойства были изучены методом дифференциально сканирующей калориметрии на DSC 214 Polyma NETZSCH в режиме: нагрев до 320 °C со скоростью 10 °C /мин – охлаждение до 25 °C со скоростью 10 °C /мин. Реологические характеристики были получены на ротационном реометре DHR 2 (TA Instruments) с параллельными плоскостями диаметром 25 мм.

В результате работы были получены пленочные материалы различных составов, изучено влияние антиоксидантов и нуклеаторов на механические свойства, температуры плавления и стеклования, степень кристалличности и вязкости расплава.

#### **Список литературы:**

[1] Чэн Чжсан и др. Изднос. – 2004. – Т. 257. – №. 7-8. – С. 696-707.

## **СЕКЦИЯ 3**

### ***ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ***

#### **ЗАОЧНЫЕ ДОКЛАДЫ**

### 3-С-01

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ОТВЕРДИТЕЛЕЙ НА КИНЕТИКУ ОТВЕРЖДЕНИЯ ЭПОКСИДНОГО ОЛИГОМЕРА

Сивак Т.П., Кадыкова Ю.А., Калганова С.Г., Сивак А.С., Горбачева Е.Ю.

*Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Контакт»,  
научно-исследовательский центр, г. Саратов  
nayka@kontakt-saratov.ru*

Эпоксидные смолы широко применяются в промышленности благодаря уникальному сочетанию свойств: прочности, устойчивости к химическим воздействиям и способности к формированию прочных и долговечных покрытий. Несмотря на широкую распространенность, подбор оптимального состава композиции остается актуальной задачей, т.к. понимание процессов взаимодействия между смолой и отвердителем остается важным аспектом, влияющим на качество и свойства готовых материалов.

Данная работа посвящена изучению кинетики отверждения эпоксидной смолы ЭД-20 с применением следующих отвердителей холодного типа: полиэтиленполиамин (ПЭПА), Х-аминЛ, Текамин 120 и ПДА-3. Процесс отверждения фиксировался с помощью термопары k-типа, регистрирующей изменение температуры олигомера в процессе полимеризации. Для анализа полученных результатов были построены кривые зависимости температуры от времени отверждения.

При взаимодействии различных отвердителей с эпоксидной смолой ЭД-20 было установлено, что композиция с добавлением ПЭПА характеризуется быстрым протеканием реакции (время отверждения составляет 50 минут) и значительным увеличением температуры отверждения до 170 °С. Применение ПДА-3 ведет к замедлению скорости полимеризации (время отверждения – 205 минут), что позволяет увеличить жизнеспособность олигомера. При введении Текамина 120 и Х-аминЛ процесс отверждения характеризуется сравнительно низкими показателями температуры полимеризации, находящимися в пределах 80-85 °С. При этом характер кривой олигомера с Текамином 120 повторяет характер кривой зависимости олигомера с применением ПЭПА, несмотря на разницу в максимальной температуре отверждения.

Таким образом, полученные результаты показывают различный характер влияния на отвержение эпоксидной смолы ЭД-20, что может служить основой для выбора подходящего состава композиции в зависимости от требований к жизнеспособности олигомера, условий эксплуатации изделий и предъявляемых к ним требований.

### Благодарности

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00796, <https://rscf.ru/project/24-29-00796>.*

**ГИДРОФОБИЗИРУЮЩИЕ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИЕ СОСТАВЫ ДЛЯ  
ЗАЩИТЫ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Сривастава А.А., Демидов М.П., Костылева Е.И., Новиков А.Н., Ивлев А.Е.

*Новомосковский институт Российского химико-технологического университета  
имени Д. И. Менделеева, г. Новомосковск, Тульская область  
srivastava.a.a@muctr.ru*

При хранении прокатной стали в рулонах края срезов подвергаются коррозии (нарушение целостности покрытия при нарезке материала). С этой проблемой сталкиваются производители профильных изделий из оцинкованной стали. В представленном исследовании были разработаны и изучены функциональные пленкообразующие составы для антикоррозионной защиты оцинкованного стали на основе кремнийорганических соединений. Олигоалкилгидридсилоксаны широко применяются в промышленности для создания гидрофобных защитных покрытий для конструкционных материалов. Для улучшения адгезии обрабатываемой подложки и полимерного материала используются различные модификаторы поверхности, в данной работе применяли аминоэтиламинопропилтритметокисилан (АС). Образцы оцинкованной стали размером 150Х150Х3 мм были обработаны составами на основе: водных и спиртовых растворов олигометилгидридсилоксана (ГКЖ-М) и модификатора поверхности АС; смеси водных эмульсий ГКЖ-М и эпоксидной смолы ЭД-20 и модификатора поверхности АС.

Водные эмульсии ГКЖ-М и ЭД-20 получали в ультразвуковом поле с частотой 22 кГц в присутствии 2 масс.% водного раствора поливинилового спирта в качестве эмульгатора. Для оценки гидрофобности изучаемого покрытия использовали метод измерения угла смачивания ( $\theta$ ).

Выявлено что, пленкообразующие составы на основе водных эмульсий ГКЖ-М имеют значения краевых углов на месте среза 115-118 град (концентрации ГКЖ-М 15 масс.%, АС 3 масс.%). Составы на основе изопропилового спирта и ГКЖ-М с содержанием активного вещества 5,10,15 масс.% обладают более высокой гидрофобностью ( $\theta=120-130$  град) по сравнению с водными эмульсиями, при этом оптимальная концентрация ГКЖ для составляют 10-15 масс.%, АС – 1 масс.%.

Для улучшения прочностных показателей покрытия были разработаны составы на основе модификатора поверхности АС и смеси ГКЖ и эпоксидной смолы ЭД-20. Концентрация АС составляла 5 масс. %, ГКЖ 10 масс.%, эпоксидной смолы 2,5-10 масс.%. Выявлено, что значения  $\theta$  составляют от 107 до 140 град.

Обработанные образцы выдерживают испытания на коррозионную стойкость в естественных условиях окружающей среды в течении 9 месяцев и в камере соляного тумана в течении 2 месяцев. Предложенные пленкообразующие составы и их методика нанесения могут быть использованы в качестве гидрофобных защитных покрытий при хранении оцинкованного железа.

**Благодарности**

*Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках исполнения Государственного задания № fssm-2024-0006 (Лаборатория ионных материалов).*

## **СЕКЦИЯ 4**

### ***БИОПОЛИМЕРЫ И ПОЛИМЕРЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ***

**УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ**

4-0-01

# СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ КОЛИСТИНА НА ОСНОВЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ СУЛЬФАТИРОВАННЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ И ЦИАНОКОБОЛАМИН-ХИТОЗАНА

Боровской А.Ю.<sup>1</sup>, Дубашинская Н.В.<sup>1</sup>, Скорик Ю.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
*Wasbon54@gmail.com*

Применение колистина (СТ) ограничено его нейро- и нефротоксичностью, несмотря на низкую резистентность и высокую эффективность против полирезистентных грамотрицательных бактерий, что делает его антибиотиком последней линии. Для снижения токсичности перспективно инкапсулирование СТ в полиэлектролитные комплексы (ПЭК), обеспечивающие модифицированное высвобождение и потенциальное снижение дозы. Связывание аминогрупп СТ в ПЭК снижает его катионную плотность, ассоцииированную с цитотоксичностью. Включение лимонной кислоты и  $\text{Fe}^{3+}$  усиливает бактериальную абсорбцию комплекса через сидерофорный путь. Функционализация поверхности ПЭК цианокобаламин-хитозановым коньюгатом (CSB12) придает мукоадгезивность и обеспечивает трансцитоз через эпителий по пути витамина B12.

Оценка нефро- и нейротоксичности комплекса [CRG-CSB12-CT] *in vitro* (линии HEK 293 и T-98G) и *in vivo* подтвердила отсутствие токсических эффектов, характерных для свободного СТ. Фармакокинетические профили были сходны, но через 30 мин после введения концентрация СТ из комплекса в системном кровотоке составила лишь ~27% от концентрации свободного СТ (эквивалентная доза), что свидетельствует о высокой стабильности комплекса *in vivo*.

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 19-73-20157-П).

## 4-О-02

# ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРОГЕЛЯ НА ОСНОВЕ Н-ТРИМЕТИЛХИТОЗАНА И АЛЬДЕГИДА ПУЛЛУЛАНА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

Кислюк М.В.<sup>1,2</sup>, Шерневич А.А.<sup>3</sup>, Шевченко М.А.<sup>1,2,3</sup>, Пристромова Ю.И.<sup>1,2</sup>,  
Огородников В.Э.<sup>1,2</sup>, Юркштович Т.Л.<sup>1,2</sup>, Бычковский П.М.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского  
государственного университета, г. Минск*

<sup>2</sup>*Учебно-научно-производственное республиканское унитарное предприятие  
«УНИТЕХПРОМ БГУ», г. Минск*

<sup>3</sup>*Белорусский государственный университет, г. Минск  
kisluk285@gmail.com*

Хитозан – биосовместимый полимер, широко применяющийся в фармацевтической сфере, благодаря проявлению собственной активности, использованию в составе систем доставки лекарств. Недостатком хитозана является его нерастворимость в воде. Триметилирование аминогрупп хитозана создает положительный заряд на атоме азота, что обеспечивает растворимость продукта в нейтральной среде [1]. Пуллулан – хорошо растворимый в воде нетоксичный биополимер, проявляющий ряд полезных биологических свойств. При окислении по Малапраду вицинальных гидроксильных групп пуллулана образуются высокореакционные альдегидные группы, способные ковалентно связываться со свободными аминогруппами триметилхитозана с формированием гидрогеля – вязкоэластичного материала, основу которого составляет трёхмерная перекрёстно-сшитая полимерная сеть, способная поглощать значительные объёмы воды за счет набухания. Гидрогели широко применяются в системах доставки лекарств разных фармакологических групп в различных лекарственных формах [2]. Для комплементарного связывания были использованы образцы со схожим содержанием функциональных групп (около 40%). Реологические испытания продемонстрировали широкую линейную вязкоупругую область образцов гидрогелей, высокую способность к самовосстановлению в ходе цикличного чередования деформаций, а кривая течения соответствовала псевдопластичному поведению, обуславливающему возможность инъекционного способа введения гидрогеля.

### **Список литературы:**

- [1] *De Britto D., Assis O. B. G. Carbohydrate Polymers* **69**, 305-310 (2007).  
[2] *Solomevich S. O., Dmitruk E. I., Bychkovsky P. M., Salamevich D. A., Kuchuk S. V.,  
Yurkshtovich T. L. International Journal of Biological Macromolecules* **169**, 500-512 (2021).

### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке гранта Государственной программы научных исследований Республики Беларусь (№ 2.2.02.07).*

## 4-О-03

# СВЯЗЫВАНИЕ ИОНОВ КАЛЬЦИЯ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИМИ ПОЛИМЕРАМИ

Саликова Е.П.<sup>1,2</sup>, Некрасова Т.Н.<sup>1</sup>, Назарова О.В.<sup>1</sup>, Фишер А.И.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» – Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)", г. Санкт-Петербург  
evasalikova@list.ru

Ежегодно количество людей с заболеваниями в области опорно-двигательной системы растет. Для разработки имплантируемых биоматериалов, заменителей костной ткани значительный интерес представляет использование комплексов кальция с фосфорсодержащими полимерами, поскольку ионы кальция и фосфаты способствуют минерализации костной ткани и облегчают взаимодействие белков и клеток, а также обладают остеокондуктивными и в некоторых случаях остеоиндуктивными свойствами.

В данной работе проведено сравнительное исследование способности связывать ионы кальция  $\text{Ca}^{2+}$  линейными и сшитыми фосфорсодержащими полимерами различной структуры: гомо- и сополимерами винилфосфоновой кислоты (ВФК, а) и акрилоильного производного аллендроновой кислоты (ААлК, б). В качестве сомономеров использованы нейтральные гидрофильные мономеры: акриламид (АА, в), 4-акрилоилморфолин (4-АМ, г) и 2-деокси-2-метакриламидо-D-глюкозу (МАГ, д). Количество связанного полимерами  $\text{Ca}^{2+}$  определяли методом ион-селективного анализа с помощью кальций-селективного электрода.

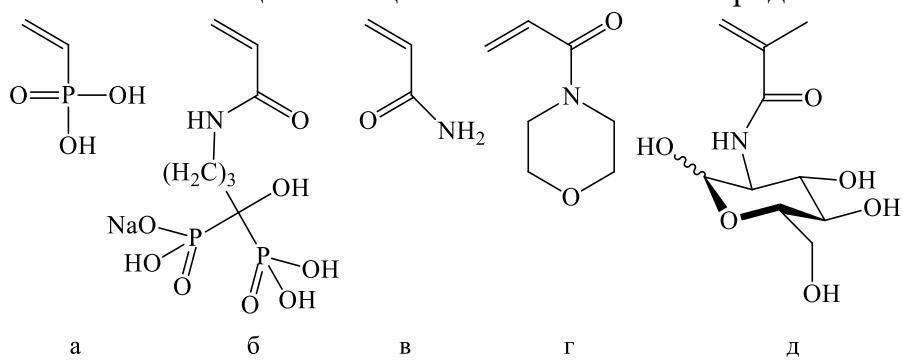


Рис. 1 - Структурные формулы мономеров.

Обнаружено, что эффективность связывания ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}/\text{P}$  (количество ионов кальция, связавшихся с 1 атомом фосфора) существенно увеличивается при переходе от гомополимера ААлК к сополимерам ААлК с МАГ и 4-АМ. По сравнению с поливинилфосфоновыми сополимерами ААлК с МАГ и 4-АМ характеризуются более высокой эффективностью связывания ионов  $\text{Ca}^{2+}$ . Благодаря низкой токсичности исследованные полимеры перспективны для использования их в инженерии костной ткани.

## 4-О-04

# КОМПОЗИТНЫЕ МАТРИЦЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИ- $\epsilon$ -КАПРОЛАКТОНА И ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Чабина А.С.<sup>1</sup>, Богданова Д.Н.<sup>1</sup>, Прасолов Н.Д.<sup>2</sup>, Нащенкин А.В.<sup>2</sup>, Нащекина Ю.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт цитологии РАН, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург  
Chabina.a@incras.ru

Поли- $\epsilon$ -капролактон (ПКЛ) — это нетоксичный полимер с хорошими механическими свойствами, ввиду чего он является перспективным для использования в медицине. Однако его гидрофобность и отсутствие сайтов связывания затрудняют адгезию и пролиферацию клеток на ПКЛ. Чтобы повысить его биосовместимость, было предложено создание композитных матриц на основе ПКЛ и полиэтиленгликоля (ПЭГ), обладающего гидроксильными группами [1]. Матрицы формировали методом полива из раствора полимеров в хлороформе в массовом соотношении 70% ПКЛ и 30% ПЭГ при варьировании объёма раствора нанесения (20, 50, 75 мкл/см<sup>2</sup>) и молекулярной массы ПЭГ (1, 2, 4, 6, 8 и 15 кДа). Инкубируя полученные матрицы в воде, создавали развитый рельеф поверхности за счёт частичного вымывания ПЭГ. Полученную топологию оценивали с помощью поляризационной, сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопий. Выявили образование лунок и наношероховатостей, распределение и размер которых зависит от молекулярной массы ПЭГ. Наибольшая шероховатость была характерна для матриц с ПЭГ 1 кДа. Спектрофотометрически подтверждали частичное вымывание ПЭГ, происходившее активнее при низкой молекулярной массе ПЭГ. Методом сидячей капли подтверждали увеличение гидрофильности ПКЛ после инкубирования матриц в воде. Методом одноосного растяжения определили, что инкубирование композитных матриц при любой молекулярной массе ПЭГ снижает пределы текучести, прочности и жесткость по сравнению с чистым ПКЛ. Культивирование мезенхимальных стромальных клеток (МСК) на композитных матрицах подтвердило их улучшенную биосовместимость по сравнению с чистым ПКЛ. Матрицы с молекулярной массой ПЭГ 1, 2 и 6 кДа и объёмом 50 мкл/см<sup>2</sup> продемонстрировали лучшую адгезию и пролиферацию МСК через 1 и 3 суток соответственно. МСК на матрицах с ПЭГ 1 и 6 кДа имели морфологические характеристики, близкие к положительному контролю, и образовывали больше фокальных контактов. Таким образом, модификация ПКЛ с помощью ПЭГ повышает биосовместимость полимера. Для дальнейших исследований были выбраны матрицы с молекулярной массой ПЭГ 1 кДа за счёт подходящего рельефа и 6 кДа из-за высокой гидрофильности.

### Список литературы:

[1] Nashchekina Y., Samusenko I., Zorin I., Kukhareva L., Bilibin A., Blinova M. Biomedical Materials **14** (6): 065005 (2019).

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 21-74-20120).

## 4-О-05

# ТРЕХМЕРНЫЕ СКАФФОЛДЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ ЧАСТИЦ

Леонович М.С.<sup>1,2</sup>, Коржиков-Влах В.А.<sup>2</sup>, Тенникова Т.Б.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» - Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург,

<sup>2</sup> Институт химии, Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург  
leonovichmariia@yandex.ru

Дефекты твёрдых соединительных тканей критических размеров являются серьезной патологией, требующей медицинского вмешательства. Аутотрансплантация считается золотым стандартом лечения костных дефектов, однако она обладает рядом серьезных недостатков: повреждение донорской зоны, нехватка донорской кости и др. В качестве альтернативы предлагается аутогенная клеточная трансплантация с использованием скаффолдов - искусственно созданных структур, которые способствуют образованию тканей как *in vitro*, так и *in vivo*. Идеальный скаффольд должен быть биосовместимым и биоразлагаемым, иметь трёхмерную суперпористую структуру, демонстрировать скорость разложения, сопоставимую скорости регенерации ткани. Более того, скаффольд должен обладать контролируемой микро- и нанотопологией, а также стимулировать первичную адгезию клеток и последующее образование ткани. Разработка таких матриц представляет научный и практический интерес, так как сочетание различных материалов и сигнальных молекул позволяет имитировать сложную структуру естественной костной ткани и контролировать её реконструкцию.

Данное исследование посвящено созданию биосовместимых трехмерных матриц на основе полимерных частиц. Разработаны методы модификации исходных полимеров с целью введения в их структуру ненасыщенных связей, а также подходы к получению частиц различного диаметра на их основе. Частицы охарактеризованы с точки зрения их размера, заряда и морфологии. Получены 3D супермакропористые структуры на основе смесей различных частиц методами криотропного гелеобразования и 3D-печати. Изучена цитотоксичность полученных частиц и материалов на их основе, а также оценена возможность клеточного роста на выбранных образцах. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства Российской Федерации (КНП № 075-15-2024-553 «Полимеры для устойчивого развития»).

### Благодарности

Работа выполнена с использованием оборудования Научного парка СПбГУ (РЦ «Магнитно-резонансные методы исследования», «Методы анализа состава вещества», «Центр диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и наноэлектроники», «Рентгенодифракционные методы исследования», «Геомодель», «Центр микроскопии и микроанализа» и «Развитие молекулярных и клеточных технологий»).

## 4-О-06

# СИНТЕЗ КАТИОННЫХ МИКРОГЕЛЕЙ И ИХ КОМПЛЕКС С АНИОННЫМИ ЛИПОСОМАМИ: МЕХАНИЗМ ДВОЙНОГО ОТКЛИКА ДЛЯ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ

Жванская Е.С.<sup>1</sup>, Абрамова Т.А.<sup>1</sup>, Ефимова А.А.<sup>1</sup>, Кожунова Е.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва  
zhvanskaia.es20@physics.msu.ru*

Микрогели, сочетающие свойства макромолекул, коллоидов и поверхностно-активных веществ, представляют интерес как восприимчивые системы и системы доставки лекарств [1, 2]. Мы исследуем комплексы катионных микрогелей с анионными липосомами, способными инкапсулировать гидрофильные и гидрофобные соединения [3]. Высвобождение инкапсулированных веществ реализуется двумя независимыми механизмами: за счет разрушения адсорбированных липосом при термоиндуцированном коллапсе микрогелей и разупорядочения мембран липосом с pH-чувствительным элементом в слабокислой среде, характерной для опухолей.

Синтезированы микрогели путём сополимеризации поли-N-изопропилакриламида (НИПА) и диаллидиметиламмоний хлорида (ДАДМАХ). На их основе получены комплексы с липосомами первого типа (10 % кардиолипин, 90 % фосфатидилхолин) и второго типа (10 % кардиолипин, 5 % pH-переключатель – производное литохолевой кислоты, 85 % фосфатидилхолин).

Динамическое светорассеяние показало, что микрогели коллапсируют при 32 °C, что ниже температуры человеческого тела. Комплексообразование не препятствует этому.

Формирование комплекса подтверждено измерением дзета-потенциала и фильтрацией с флуоресцентно-меченными липидами: при нейтральном заряде комплекса избытка свободных липосом не наблюдалось.

Изучен отклик смешанных комплексов, содержащих оба типа липосом, адсорбированных на одном микрогеле. Липосомы первого типа загружали карбоксифлуоресцеином; его высвобождение регистрировали по увеличению флуоресценции вследствие снятия самотушения. Липосомы второго типа загружали раствором соли; высвобождение отслеживалось по изменению электропроводности. Показано, что липосомы реагируют на внешние стимулы независимо: первые — на повышение температуры, вторые — на снижение pH, что обусловлено включением pH-чувствительного переключателя в их мембранны. Исследование цитотоксичности продемонстрировало хорошую биосовместимость системы. Таким образом, реализовано контролируемое ступенчатое высвобождение различных веществ из одного носителя — потенциальной платформы для адресной терапии заболеваний.

## Список литературы:

- [1] Plamper F. A., Richtering W. Accounts of chemical research **50** (2), 131-140 (2017).
- [2] Soni K. S., Desale S. S., Bronich T. K. Journal of Controlled Release **240**, 109-126 (2016).
- [3] Allen T.M., Cullis P.R. Advanced drug delivery reviews **65** (1), 36-48 (2013).

## Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова и при финансовой поддержке фонда «Базис».

## **4-О-07**

# **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ДЕКСАМЕТАЗОНА НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ ДЛЯ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ**

**Бокатый А.Н., Дубашинская Н.В., Скорик Ю.А.**

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
qwezakura@yandex.ru*

В данном исследовании представлен цикл работ, посвященный разработке офтальмологических систем доставки дексаметазона на основе функционализированных полисахаридов с целью улучшения его биодоступности и продолжительности действия, что в конечном итоге способствует улучшению лечебных результатов и удобству применения для пациентов с глазными заболеваниями.

Значимость исследования заключается в разработке комплекса инновационных полимерных систем доставки кортикоステроида дексаметазона на основе природных полисахаридов, включающего коньюгаты, полиэлектролитные комплексы и самособирающиеся наночастицы, обладающих ключевыми преимуществами для офтальмологического применения. Полученные частицы размером 200-800 нм оптимальны для офтальмологических препаратов, обеспечивая улучшенную мукоадгезию, эффективное преодоление глазных барьеров и минимизацию раздражающего действия. Контролируемый  $\zeta$ -потенциал (как положительный, так и отрицательный) позволяет подбирать системы для разных путей введения: положительно заряженные частицы (полиэлектролитные комплексы и самособирающиеся наноносители) оптимальны для местного применения благодаря усиленному взаимодействию с отрицательно заряженными слизистыми оболочками, тогда как отрицательно заряженные системы (коньюгаты и полиэлектролитные комплексы) демонстрируют повышенную стабильность и пролонгированную активность при интравитреальном введении. Все разработанные системы обеспечивают контролируемое высвобождение дексаметазона: при местном применении - медленное высвобождение в течение 6-12 часов, сокращающее количество инстилляций, а при интравитреальном введении - длительное высвобождение в течение нескольких месяцев, минимизирующее необходимость повторных инъекций. При этом носители сохраняют противовоспалительную активность, сопоставимую с чистым дексаметазоном, обеспечивая его стабильную и длительную доставку к целевым тканям. Таким образом, разработанные полимерные системы представляют собой перспективную альтернативу традиционным формам кортикостероидов, сочетая высокую биосовместимость, пролонгированное действие и возможность направленной доставки, что открывает новые возможности для терапии воспалительных и дегенеративных заболеваний глаз.

## 4-О-08

# МЕТОД ИММОБИЛИЗАЦИИ ГИДРОКСИАПАТИТА НА ПОВЕРХНОСТИ ПОРИСТЫХ ИМПЛАНТАТОВ ИЗ ФТОРПОЛИМЕРОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ FDM-ПЕЧАТИ

Горенинский С.И.<sup>1,2</sup>, Воробьев А.О.<sup>1,2</sup>, Акимченко И.О.<sup>1,2</sup>, Больбасов Е.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «Научно-технологический университет «Сириус», федеральная территория «Сириус»*

<sup>2</sup>*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск  
goreninskij.si@talantiuspeh.ru*

Разработка персонифицированных имплантатов для замещения дефектов костной ткани является актуальной задачей современного медицинского материаловедения. Использование полимерных имплантатов позволяет решить ряд проблем (сводит к нулю вероятность металлоза, упрощает изготовление имплантата), но, зачастую, полимерные материалы не обеспечивают необходимую интеграцию с костной тканью из-за биологической инертности и низкой свободной энергии поверхности. В связи с этим, появляется потребность в новых методах модификации поверхности пористых полимерных имплантатов.

Целью исследования стала разработка метода иммобилизации частиц гидроксиапатита (ГАП) на поверхности пористых имплантатов, изготовленных из сополимера винилиденфторида с тетрафторэтиленом (ВДФ-ТеФЭ) методом послойного наплавления (3D-печати) и исследование их свойств.

Модельные пористые имплантаты из ВДФ-ТеФЭ формировали методом FDM-печати. Иммобилизацию частиц ГАП проводили посредством обработки образцов в смеси ацетона и воды в объемном соотношении 70/30, содержащей 1, 5 или 10 масс. % ГАП в течение 5 минут. Оценку площади, покрытой частицами ГАП, проводили методом сканирующей электронной микроскопии. Элементный состав поверхности модифицированных образцов исследовали методом энергодисперсионного анализа. Гидрофильность поверхности образцов исследовали методом «сидячей капли». Прочность образцов на сжатие исследовали согласно стандарту ISO 604:2002.

С использованием выбранных режимов модификации, удалось покрыть до ≈80% площади образцов. Содержание кальция и фосфора в составе образцов достигало ≈13 и 4 масс. %. Иммобилизация частиц гидроксиапатита придала поверхности образцов гидрофильный характер (угол контакта с водой <1°). Предложенный метод модификации позволил сохранить прочность модельных образцов на сжатие.

Реализован метод иммобилизации частиц ГАП на поверхности пористых имплантатов, изготовленных из фторированного сополимера ВДФ-ТеФЭ. Предложенный метод может быть реализован с помощью стандартного лабораторного оборудования и позволяет придать гидрофильные свойства поверхности имплантатов, не влияя на их прочностные характеристики.

## Благодарности

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (проект № 24-23-00467).*

## 4-О-09

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ХРОМАТИНА В ЯДРАХ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК МЕТОДОМ МАЛОУГЛОВОГО РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ И РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Яшина Е.Г.<sup>1,2</sup>, Варфоломеева Е.Ю.<sup>2</sup>, Пантина Р.А.<sup>2</sup>, Ковалев Р.А.<sup>2</sup>,  
Федорова Н.Д.<sup>2</sup>, Горшкова Ю.Е.<sup>3</sup>, Григорьев С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Петербургский институт ядерной физики имени Б. П. Константинова НИЦ Курчатовский институт, г. Санкт-Петербург*

<sup>3</sup>*Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна*

*yashina\_91@inbox.ru*

Одним из наиболее информативных и востребованных методов определения структуры неупорядоченных биологических объектов является малоугловое рассеяние рентгеновского излучения (МУРР). Исследования крупномасштабной организации хроматина с помощью ультра малоугловых техник нейтронного рассеяния, таких как Спин-Эхо МУРН и Ультра МУРН, демонстрируют наличие структуры логарифмического фрактала в ядрах нормальных и опухолевых клеток [1,2]. Эксперименты по МУРР и МУРН на ядрах опухолевых клеток HeLa демонстрируют наличие фрактальной структуры размером в 200 нм и фрактальной размерностью D=2,6 [2]. В то время как эксперименты по МУРР на ядрах опухолевых клеток HeLa с подавленной транскрипционной активностью двумя разными способами (культтивирование в условиях дефицита питательной среды и культурирование с добавлением ингибитора транскрипции актиномицина Д), демонстрируют отсутствие объемнофрактальной структуры, вместо которой наблюдаются наличие 20-30 нанометровых петель нуклеосомной фибриллы.

Исследование организации хроматина в ядрах нормальных клеток лимфоцитов крысы (низкая транскрипция) и ядрах линии опухолевых лимфоцитов NC-37 (высокая транскрипция) также демонстрируют наличие фрактальной структуры размером в 100 нм и с фрактальной размерностью D=2.5 в ядрах опухолевых клеток, и ее отсутствие в ядрах нормальных клеток.

Таким образом, высокая транскрипционная активность хроматина, характерная для опухолевых клеток связана с наличием фрактальной структуры в ядре, а метод МУРР является хорошим инструментом для исследования структурных изменений в хроматине под воздействием веществ, влияющих на активность генов на эпигенетическом уровне.

### Список литературы:

- [1] E. G. Iashina, W. G. Bouwman, C. P. Duif, R. Dalgliesh, E. Yu. Varfolomeeva, R. A. Pantina, R. A. Kovalev, N. D. Fedorova, S. V. Grigoriev, Journal of Applied Crystallography, **56(5)**, 1512-1521 (2023).
- [2] Е. Г. Яшина, Е. Ю. Варфоломеева, Р. А. Пантина, В. Ю. Байрамуков, Р. А. Ковалев, Н. Д. Федорова, К. А. Пшеничный, Ю. Е. Горшкова, С. В. Григорьев, Письма в ЖЭТФ, **118(10)**, 776 – 781 (2023).

### Благодарности

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 25-72-00128).*

## 4-О-10

# НАНОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ БИОПОДОБНЫХ СОПОЛИМЕРОВ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ

Джужа А.Ю.<sup>1,2</sup>, Левит М.Л.<sup>1</sup>, Добродумов А.В.<sup>1</sup>, Коржикова-Влах Е.Г.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» -  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург,  
polinadzhuzha@mail.ru*

<sup>2</sup>*Институт химии, Санкт-Петербургский государственный университет,  
г. Санкт-Петербург*

Создание полимерных систем доставки лекарств является перспективным подходом для повышения эффективности фармакотерапии. За счёт инкапсулирования лекарственных молекул в полимерные нано- и микрочастицы могут быть решены проблемы низкой растворимости некоторых лекарств, а также достигнута защита от преждевременной инактивации лекарства за счет ограничения воздействия среды организма на лекарственную молекулу. Разрабатываемые новые терапевтические подходы, в том числе генной терапии и терапии с использованием нескольких лекарственных веществ единовременно, порождают запрос на создание систем, позволяющих реализовать доставку более одного типа лекарственного вещества. Синтетические полипептиды, гликополимеры и их гибридные сopolимеры являются одними из перспективных кандидатов для получения систем доставки лекарственных веществ различной природы благодаря возможности направленного дизайна структуры и состава макромолекул.

В представленной работе с целью получения систем для комбинированной доставки лекарственных веществ различной природы были синтезированы амфифильные катионные производные поли( $\alpha$ ,L-лизина) и амфифильные производные гибридных привитых сополимеров на основе гликополимеров и полипептидов. Синтез сополимеров осуществляли с использованием методов контролируемой радикальной полимеризации, полимеризации с раскрытием цикла и пост-полимеризационной модификации. На основе синтезированных амфифильных сополимеров были сформированы наночастицы и получены наноформы различных по химической природе лекарственных веществ – гидрофобного цитостатического препарата паклитаксела и агентов генной терапии (нуклеиновых кислот), а также системы комбинированной доставки. Полученные системы были охарактеризованы комплексом физико-химических методов; изучены закономерности инкапсулирования и высвобождения лекарственных веществ; исследована *in vitro* биологическая эффективность наноформ выбранных субстанций.

### Благодарности

*Работа выполнена с использованием оборудования Научного парка СПбГУ (РЦ  
Методы анализа состава вещества и Развитие молекулярных и клеточных  
технологий).*

## 4-О-11

# ПОЛУЧЕНИЕ БИОРЕЗОРБИРУЕМОГО КОМПОЗИТНОГО ПРОТЕЗА НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И ПОЛИКАПРОЛАКТОНА И ЕГО ОЦЕНКА В ДЛИТЕЛЬНОМ ХРОНИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ В УСЛОВИЯХ *IN VIVO*

Завражных Н.А.<sup>1,2</sup>, Попов Г.И.<sup>3</sup>, Юкина Г.Ю.<sup>3</sup>, Иванькова Е.М.<sup>1</sup>, Юдин В.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Филиал НИЦ «Курчатовский институт»-ПИЯФ-ИВС, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, г. Санкт-Петербург  
*zavrazhnykhna96@gmail.com*

Согласно статистике Всемирной организации здравоохранения ежегодно в мире регистрируется высокий уровень сердечно-сосудистых заболеваний и высокая смертность, вызванная этими нарушениями (World health statistics, 2022). Среди основных методов лечения являются хирургические вмешательства. Сосудистое шунтирование и протезирование проводится с помощью нативных сосудов (аутологичных вен или артерий) или синтетических полимерных имплантатов с целью обхода окклюзированного или тромбированного сосуда. К сожалению, количество аутологичного материала ограничено.

В сердечно-сосудистой хирургии разработаны и активно применяются протезы нескольких типов, однако в случае необходимости выполнить реконструкцию сосуда диаметром менее 6 мм или сосудистую реконструкцию у детей крайне актуальным становится вопрос выбора пластического материала. Создание тканеинженерного сосудистого имплантата направлено на решение проблемы дефицита пластического материала при выполнении сосудистых реконструкций малого диаметра у взрослых, на решение проблемы ремоделирования сосудистого протеза при выполнении протезирования сосудов у детей.

Пористые материалы получали методом электроформования из поли-L-лактида и поли-ε-капролактона. Исследование механических свойств показало оптимальные свойства полученных протезов. Они обладают необходимой прочностью и достаточной эластичностью, позволяющей проводить хирургические манипуляции без хрупкого разрушения. Разработанный трубчатый образец диаметром 4 мм имплантировали в заднюю полую вену примата *Papio anubis*, масса тела  $5900 \pm 27$  гр (n=1). Срок наблюдения – 29 мес. При эксплантации имплантата в зоне оперативного пособия не выявлено патологических процессов. Макроскопически зона протезирования сосуда практически неотличима от нативной задней полой вены. Сосудистый имплантат проходим, без зон стенозирования или аневризматической дегенерации. По данным гистологического исследования через 29 месяца наблюдения стенка имплантата состоит из трех четко дифференцированных слоев. Проведенный длительный хронический эксперимент *in vivo* выявил интеграцию тканеинженерного сосудистого имплантата в сосудистое русло экспериментального животного, ремоделирование имплантата в ответ на рост организма реципиента, доказана безопасность, биосовместимость и эффективность использования разработанной матрицы.

## 4-О-12

# САМОСОБИРАЮЩИЕСЯ ЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ КОНЬЮГАТОВ ПРЕДНИЗОЛОНА С ХИТОЗАНОМ ДЛЯ БИМОДАЛЬНОЙ ДОСТАВКИ ГЛЮКОКОРТИКОСТЕРОИДОВ

Новикова В.П.<sup>1</sup>, Дубашинская Н.В.<sup>1</sup>, Скорик Ю.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» -  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург

Применение глюокортикоидов для терапии локальных воспалительных и аутоиммунных процессов сопряжено с трудностями, обусловленными их низкой биодоступностью в целевых тканях и необходимостью многократного введения высоких доз, что существенно повышает риск развития системных побочных эффектов [1]. В связи с этим разработка систем доставки, обеспечивающих быстрое начало терапевтического действия в сочетании с пролонгированным эффектом, представляет собой актуальную научную задачу. Для решения данной проблемы методом карбодиимида активации были синтезированы коньюгаты преднизолона с хитозаном (молекулярная масса 60 кДа, степень дезацетилирования 84%) и диэтиламиноэтилхитозаном (степень коньюгирования 4%).

В водных средах полученные коньюгаты спонтанно формируют амфифильные частицы, характеризующиеся гидрофильной оболочкой и гидрофобным ядром, с гидродинамическим диаметром 600-880 нм и  $\zeta$ -потенциалом +27 мВ. Эти самособирающиеся структуры были использованы в качестве носителей для дополнительной загрузки свободного преднизолона, продемонстрировав эффективность инкаспулирования в диапазоне 31-86% и эффективность загрузки лекарственного вещества от 7% до 19%. После процедуры загрузки размер частиц составил 550-860 нм при  $\zeta$ -потенциале +(21-25) мВ, что свидетельствует о сохранении стабильности коллоидной системы.

Исследования высвобождения *in vitro* выявили бимодальный профиль: до 25% глюокортикоида высвобождается в течение первых 24 часов (эффект начального быстрого высвобождения), после чего следует этап постепенного контролируемого высвобождения в течение 30 дней. Такой режим обеспечивает возможность как немедленного подавления воспалительной реакции, так и ее длительного устойчивого купирования без необходимости повторных введений. Разработанные самособирающиеся субмикронные частицы представляют собой перспективную платформу для повышения эффективности терапии воспалительных заболеваний внутреннего уха, эффективность доставки в которое с помощью аналогичных полимерных систем была ранее подтверждена [2].

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 25-75-20013, <https://rscf.ru/project/25-75-20013/>).

### Список литературы:

- [1] Dubashynskaya, N.V., Bokatyi, A.N., Skorik, Y.A. Biomedicines, **9 (4)**, 341 (2021).
- [2] Panarin A.A., Golyshev A.A., Skorik Y.A., Zhuravskii S.G., Sonin D.L. Pharm. Chem. J. **50**, 711–714 (2017).

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ МИКРОГЕЛЕЙ АЛЬГИНАТА ЖЕЛЕЗА СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ИНКАПСУЛЯЦИИ КЛЕТОК И ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Соколов А.С.<sup>1</sup>, Порошин С.Г.<sup>1,2</sup>, Абдурашитов А.С.<sup>1,2</sup>, Прошин П.И.<sup>1,2</sup>,  
Сухоруков Г.Б.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Сколковский Институт Науки и Технологий, г. Москва

<sup>2</sup>Общество с ограниченной ответственностью «ЛИФТ Центр», г. Москва  
*Alexey.Sokolov@skoltech.ru*

Альгинаты — это природные линейные анионные полисахариды, которые легко образуют сшитые гидрогели при взаимодействии их карбоксильных групп с катионами поливалентных металлов. Ионы железа  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$  по-разному сшивают молекулы альгината: при одинаковой концентрации ионы  $\text{Fe}^{3+}$  образуют альгинатный гель, а ионы  $\text{Fe}^{2+}$  — нет [1]. Таким образом, с изменением заряда ионов железа происходит изменение агрегатного состояния геля.

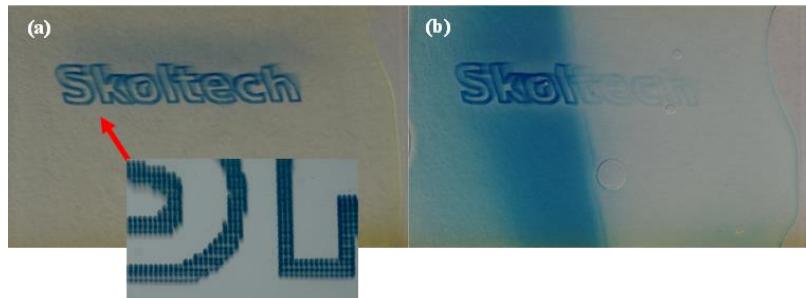


Рис. 1 - Образование (а) и растворение (б) паттерна из микрогелей Fe-альгината.

Под действием света синей части спектра ( $\lambda = 450$  нм) фотоактивный комплекс железа производит выделение свободных ионов  $\text{Fe}^{3+}$  и происходит образование гидрогеля [2]. Под действием света фиолетовой части спектра ( $\lambda = 405$  нм) железо  $\text{Fe}^{3+}$  восстанавливается в  $\text{Fe}^{2+}$ , вызывая растворение гидрогеля [3]. С использованием источника лазерного излучения ( $\lambda = 450$  нм) могут быть получены фотоотверженные частицы микрогелей, из которых может быть сформирован паттерн сложной формы. Затем, обработкой светом около-ультрафиолетового диапазона ( $\lambda = 405$  нм) микрогели могут быть растворены. (Рисунок 1). Эта фотохимическая система потенциально может применяться для инкапсуляции лекарственных препаратов и живых клеток с возможностью их высвобождения после кратковременной световой обработки.

### Список литературы:

- [1] Roquer D., Othman A., Melman A., Katz E. Materials Advances, **3(4)**, 1849-1873 (2022).
- [2] Sokolov A., Korabelnikova V., Ananikov V., Michurov D., Lozinsky V., Perekalin, D. Chemical Communications, **59(70)**, 10532-10535 (2023).
- [3] Bruchet M., Mendelson N., Melman A. Processes, **1(2)**, 153-166 (2013).

## 4-О-14

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЭКСКЛЮЗИОННОЙ ХРОМАТОГРАФИИ И ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ НАНОЧАСТИЦ PLGA И БЕЛКОВОЙ КОРОНЫ

Гуляев И.А., Сокол М.Б., Камаева О.Е., Клименко М.А., Моллаева М.Р.,  
Яббаров Н.Г., Чиркина М.В., Никольская Е.Д.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН, г. Москва  
Gulyaev.I.A@yandex.ru*

Полимерные наночастицы (НЧ) на основе PLGA отличаются высокой биосовместимостью, а их эффективность подтверждена клиническими испытаниями, показавшими повышение терапевтической активности и снижение частоты и тяжести побочных эффектов по сравнению со свободными лекарственными веществами (ЛВ).

Основным способом введения НЧ является внутривенный. При контакте с плазмой крови на их поверхности образуется «белковая корона» – слой адсорбированных белков, влияющий на биораспределение, токсичность и иммунный ответ. Изучение состава и динамики формирования белковой короны имеет ключевое значение для разработки безопасных и эффективных систем доставки ЛВ.

В настоящем исследовании проведено сравнение двух наиболее распространённых методов выделения комплексов полимерных НЧ и белковой короны – центрифугирования и эксклюзионной хроматографии (SEC), с последующей количественной оценкой содержания белков с использованием ВСА-анализа.

Модельные наночастицы PLGA, содержащие противоопухолевое вещество паклитаксел инкубировали с фетальной бычьей сывороткой (FBS) в течение 30 минут при 37°C для формирования белковой короны. После инкубации образцы разделяли на две группы.

Первая группа подвергалась центрифугированию. Надосадочную жидкость отбирали, и далее осадок ресуспендировали в 1 мл калий-fosфатного буфера (10 mM, pH 7,4). Цикл выделения повторяли трижды.

Вторая группа наносилась на SEC колонку. Оптимальные условия хроматографического разделения были достигнуты в колонке Cytiva GE XK 16/20 Column, заполненной неподвижной фазой Sepharose CL-4B. Детекция аналитического сигнала проводилась с помощью УФ-детектора Waters 2487 Dual λ Absorbance Detector на длинах волн 214/280 нм.

В рамках работы было показано, что разработанный метод SEC позволяет более эффективно ( $p<0,05$ ) разделить комплексы наночастица-белковая корона от свободных в растворе, исключая неспецифическое соосаждение белков, которое может происходить при центрифугировании. Полученные результаты обладают научной новизной и носят практический характер для дальнейшей разработки более безопасных и эффективных НЧ на основе PLGA.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №24-25-00095,  
<https://rscf.ru/project/24-25-00095/>.

## 4-О-15

# ВЛИЯНИЕ АТФ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА АМИЛОИДНЫХ ФИБРИЛЛ НА ОСНОВЕ ЛИЗОЦИМА И ЗЕЛЕНОГО ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО БЕЛКА

Гридасова К.Ж., Степаненко Ольга В., Сулацкий М.И., Михайлова Е.В.,  
Сулацкая А.И., Степаненко Олеся В.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт  
цитологии Российской академии наук», г. Санкт-Петербург  
krgridasova@yandex.ru*

Развитие амилоидозов и нейродегенеративных заболеваний сопровождается накоплением в организме упорядоченных белковых агрегатов с выраженной бета-структурой – амилоидных фибрилл. Несмотря на многолетние исследования до сих пор не существует эффективного и безопасного лечения этих патологий. При этом известно, что наряду с амилоидогенезом, наблюдаются различные клеточные дисфункции, включающие нарушение белкового гомеостаза и работы митохондрий, приводящие к метаболическим нарушениям, в том числе к снижению уровня аденоинтрифосфата (АТФ). Установлена способность АТФ стабилизировать глобулярные белки и препятствовать их агрегации, а также модулировать процесс формирования амилоидных фибрилл на основе ряда амилоидогенных пептидов. Однако воздействие АТФ на зрелые амилоидные фибриллы остается мало изученным. Данная работа направлена на решение этой актуальной проблемы. В качестве объектов исследования были выбраны модельные амилоидные фибриллы на основе зеленого флуоресцентного белка (sfGFP) и на основе лизоцима, накапливающиеся в организме при наследственном лизоцимовом амилоидозе. С использованием метода равновесного микродиализа и абсорбционной спектроскопии впервые была показана возможность взаимодействия АТФ со зрелыми амилоидными фибриллами на основе лизоцима и sfGFP и определены параметры этого взаимодействия. Были установлены различия в характере взаимодействия АТФ с белками в их агрегированной и нативной глобулярной форме. С применением методов электронной и конфокальной микроскопии показано, что связывание АТФ приводит к декластеризации амилоидных фибрилл, что проявляется в уменьшении размеров и плотности образуемых ими сгустков. В случае амилоидов на основе лизоцима происходит также разрушение структуры фибрилл. Анализ данных, полученных методами флуоресцентной и КД спектроскопии, а также путем измерения мутности суспензий подтверждает предположение о воздействии АТФ на морфологию и структуру исследуемых амилоидов. Было выявлено снижение токсического эффекта на клетки эпителиоидной карциномы шейки матки HeLa ТК- амилоидных фибрилл на основе лизоцима и sfGFP в результате их взаимодействия с АТФ. Полученные данные позволяют сделать предположение о протекторной роли АТФ при амилоидозах, а также об усугублении течения этих патологий при снижении уровня АТФ (например, при старении клеток, нейродегенеративных и онкологических заболеваниях, состояниях, предшествующих развитию диабета).

### Благодарности

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 23-74-10092).*

## **4-О-16**

# **КОНЦЕНТРАЦИОННО-ЗАВИСИМОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ДЕНАТАРИРУЮЩЕГО АГЕНТА ГУАНИДИН ГИДРОХЛОРИДА НА СТАБИЛЬНОСТЬ АМИЛОИДНЫХ ФИБРИЛЛ**

**Кайда А.А., Сулацкий М.И., Степаненко Ольга В., Степаненко Олеся В.,  
Сулацкая А.И.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт  
цитологии Российской академии наук», г. Санкт-Петербург  
arina.nurova@gmail.com*

Амилоидные фибриллы представляют собой уникальный класс высокостабильных биополимеров, образующихся в результате агрегации белков при нарушении их нативной структуры. Накопление таких агрегатов в организме человека сопутствует развитию серьёзных патологий, включая различные амилоидозы и нейродегенеративные заболевания. Несмотря на то, что связь данных патологий с амилоидными отложениями была открыта более 100 лет назад, в настоящее время эффективного и безопасного лечения не существует. Устойчивость амилоидов к деградации долгое время считалась крайне высокой, и только исследования последних лет показали, что эти агрегаты могут быть чувствительны к внешним воздействиям. В связи с этим, данное исследование было направлено на систематическое изучение влияния GdnHCl на структурную организацию и стабильность амилоидных фибрилл.

В качестве объекта исследования были выбраны амилоидные фибриллы на основе лизоцима, накопление которых приводит к системному лизоцимовому амилоидозу. Подготовка амилоидов *in vitro* проводилась с использованием стандартного протокола, после чего сформированные фибриллярные агрегаты были переведены в буферный раствор, содержащий GdnHCl в концентрации от 0 до 3 М. Визуализация проб методом просвечивающей электронной микроскопии показала, что при увеличении концентрации GdnHCl в образцах происходит уменьшение плотности и количества фибриллярных кластеров, а также укорочение и фрагментирование отдельных амилоидных волокон. Деградация амилоидов также подтверждается снижением рэлеевского светорассеяния и мутности проб. Анализ анизотропии и интенсивности собственной флуоресценции агрегатов позволил выявить изменение микроокружения и подвижности триптофановых остатков, свидетельствующее о разрушении регулярной структуры амилоидов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что GdnHCl вызывает концентрационно-зависимую дестабилизацию амилоидных фибрилл. Эти данные имеют потенциал для разработки новых подходов к модификации свойств амилоидов в биотехнологии, а также в медицине при создании антиамилоидных препаратов.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 23-74-10092).*

## 4-О-17

# ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ХИТИНА/ХИТОЗАНА С СУЛЬФАТИРОВАННЫМИ ПОЛИСАХАРИДАМИ: МОДИФИКАЦИЯ Cu<sup>2+</sup> ДЛЯ ПРОЛОНГИРОВАННОЙ ДОСТАВКИ МЕТРОНИДАЗОЛА

Устюхина И.С., Дубашинская Н.В., Петрова В.А., Скорик Ю.А.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
Irina.ustyukhina@bk.ru*

Перспективы применения систем доставки лекарственных средств на основе природных полимеров в биомедицине открывают новые возможности для разработки эффективных и безопасных лекарственных форм. Использование реакции интерполимерной ионной конденсации для самосборки полимерных частиц позволяет применять различные полисахариды, обладающие активными функциональными группами, в качестве компонентов систем для местной доставки лекарственных средств [1].

В данном исследовании изучалось влияние состава полиэлектролитных комплексов (ПЭК) на их физико-химические характеристики. В качестве поликатионов применялись производные хитина (частично дезацетилированный хитин со степенью дезацетилирования 40% и хитозан со средневязкостной молекулярной массой 60 кДа и степенью дезацетилирования 86%), а в качестве полианионов – фукоидан, содержащий сульфатные группы, и хондроитинсульфат, содержащий сульфатные и карбоксилатные группы. Синтез проводили в растворах уксусной, лимонной и аскорбиновой кислот. Полученные полиэлектролитные частицы характеризовались гидродинамическим диаметром в диапазоне 300-800 нм и значениями  $\zeta$ -потенциала от -22 до +20 мВ. Данные частицы использовались для инкапсулирования модельного антибактериального препарата метронидазола; средняя эффективность загрузки составила около 40%, при этом наблюдалось модифицированное пролонгированное высвобождение.

С целью улучшения функциональных свойств комплексы были допированы ионами меди, известными своими биоактивными свойствами. Допиривание привело к уплотнению частиц и уменьшению их размеров, что способствовало замедленной релаксации полимерной матрицы в процессе высвобождения лекарственного средства. Полученные результаты свидетельствуют о значительном потенциале для дальнейших исследований ПЭК на основе производных хитина и сульфатированных полисахаридов, сформированных в различных растворителях. Влияние введения биоактивных ионов меди на функциональные характеристики комплексов, в частности на антимикробную активность, является предметом планируемых исследований.

### **Список литературы:**

- [1] Dubashynskaya N.V. et al. Mucoadhesive polyelectrolyte complexes of fucoidan and chitin nanowhiskers to prolong the antiprotozoal activity of metronidazole //Carbohydrate Polymers. – 2025. – V. 349. – P. 122975.

## **4-О-18**

# **ИСКУССТВЕННЫЙ ПЕРИКАРД ИЗ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА (ПТФЭ) ИЗГОТОВЛЕННЫЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ: ИССЛЕДОВАНИЕ МЕСТНОЙ РЕАКЦИИ ТКАНЕЙ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ**

**Мельник Е.Ю.<sup>1</sup>, Ахмедов Ш.Д.<sup>2</sup>, Луговский В.А.<sup>2</sup>, Степанов И.В.<sup>2</sup>, Ионова М.А.<sup>2</sup>,  
Козлов Б.Н.<sup>2</sup>, Бузник В.М.<sup>3</sup>, Больбасов Е.Н.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск*

<sup>2</sup>*Научно-исследовательский институт кардиологии – филиал Федерального  
государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный  
исследовательский медицинский центр Российской академии наук», г. Томск*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск  
eyut13@tpu.ru*

Искусственный перикард, изготовленный из политетрафторэтилена методом электроформования, представляет собой перспективный материал для использования в сердечно-сосудистой хирургии, особенно при необходимости повторных операций на сердце. Одним из ключевых факторов, определяющих возможность его клинического применения, является его структура [1,2]. В данной работе представлены результаты экспериментального исследования, направленного на изучение влияния волокнистой и сферической структуры искусственного перикарда, изготовленного методом электроформования, на местную реакцию тканей после имплантации. Проведенные морфологические и гистологические исследования показали, что образец со сферической структурой вызывает наименьшую воспалительную реакцию по сравнению с коммерчески доступным продуктом компании Gore® и образцом с волокнистой структурой, изготовленным методом электроформования, что свидетельствует о его потенциальных преимуществах в минимизации воспалительного эффекта и улучшении биосовместимости. Полученные данные подчеркивают важность оптимизации структуры искусственного перикарда для повышения его функциональных характеристик и снижения риска осложнений после имплантации, что открывает новые перспективы для его применения в клинической практике.

### **Список литературы:**

- [1] Samadian H. et al. In vitro and in vivo evaluation of electrospun cellulose acetate/gelatin/hydroxyapatite nanocomposite mats for wound dressing applications //Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology. **46**, 964-974 (2018).
- [2] Pham Q. P., Sharma U., Mikos A. G. Electrospinning of polymeric nanofibers for tissue engineering applications: a review //Tissue engineering. **12** (5), 1197-1211 (2006).

## 4-О-19

### КОНСТРУИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРНО-ПЕПТИДНОГО НОСИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА ДЛЯ ПЕРОРАЛЬНОЙ ДНК-ВАКЦИНАЦИИ

Доля Д.А., Зубарева А.А., Скорик Ю.А.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
lemkke1291@gmail.com*

Разработка эффективных пероральных ДНК-вакцин требует создания систем доставки, способных защитить нуклеиновую кислоту от деградации в среде желудочно-кишечного тракта и обеспечить ее трансэпителиальный транспорт в системный кровоток. В качестве основы для такой системы выбран катионный полисахарид хитозан и его катионное производное (диэтиламиноэтилхитозан), которые образуют полиэлектролитные комплексы с ДНК. Для преодоления кишечного барьера система может быть функционализирована вектором трансэпителиального транспорта – например, гексапептидом AT1002. Оптимизацию реакции конъюгирования вектора с полисахаридом проводили на модельном трипептиде глутатионе с использованием двух синтетических подходов: *С бифункциональным линкером*: Конъюгирование проводили с помощью бифункционального линкера N-(3-малеимидопропионилокси)сукцинимида (BMPS) в два этапа (рис. 1).

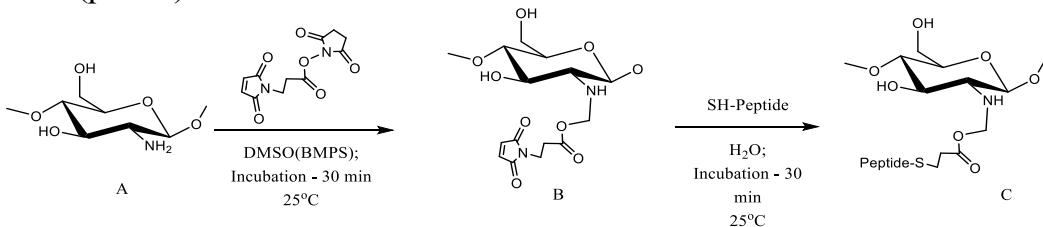


Рис. 1 - Конъюгирование пептида с диэтиламиноэтилхитозаном с использованием BMPS.

*Карбодииimidная активация:* Реакцию проводили в присутствии 1-этил-3-(3-диметиламинопропил)карбодииимида (EDC) и N-гидроксисукцинимида (NHS) при pH 4,5 в течение 7 часов (рис. 2). Наличие в молекуле пептида амино- и карбоксильных групп создает возможность конкурирующей гомолитической реакции. Поэтому для получения конъюгата использовали избыток глутатиона в массовых соотношениях 1:2 и 1:5.

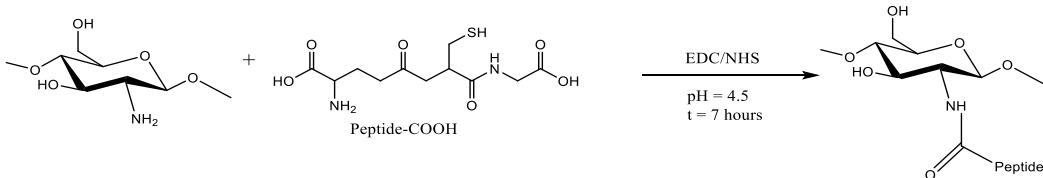


Рис. 2 - Конъюгирование пептида с хитозаном методом карбодииimidной активации.

**Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант 24-76-10054).

**СИСТЕМЫ КОМБИНИРОВАННОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ НА ОСНОВЕ АМФИФИЛЬНЫХ КАТИОННЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИ(ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ), ПОЛИ( $\epsilon$ -КАПРОЛАКТОНА) И ПОЛИ(L-ЛИЗИНА)**

Багаева И.О.<sup>1</sup>, Синицына Е.С.<sup>1,2</sup>, Силонов С.А.<sup>1</sup>, Коржикова-Влах Е.Г.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,  
г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup> НИЦ "Курчатовский институт" - ПИЯФ - ИВС, г. Санкт-Петербург  
*Bagaeva\_irina2000@rambler.ru*

Применяемые подходы лечения онкологических заболеваний, такие как химио- и генная терапии, демонстрируют свою неэффективность, выражющуюся в высокой системной токсичности лекарств, негативном воздействии терапевтических агентов на здоровые клетки, а также быстрой деградации и неэффективной трансфекции генотерапевтических субстанций *in vivo*. Использование систем комбинированной доставки лекарств различной природы позволяет защитить лекарства от метаболических изменений, а также усилить терапевтическое действие за счёт воздействия на различные факторы развития опухоли.

Таким образом, представляемое исследование направлено на разработку катионных блок-сополимеров поли(этиленгликоля) (ПЭГ), поли( $\epsilon$ -капролактона) (ПКЛ) и поли(L-лизина) (ПЛиз) с целью их дальнейшей апробации в виде наноформ, содержащих одновременно цитостатическую субстанцию диоксадэт и миРНК.

Синтез сополимеров проводили путем полимеризации мономеров с использованием макроинициаторов. Триблок-сополимеры мПЭГ<sub>n</sub>-б-ПКЛ<sub>m</sub>-б-ПЛиз<sub>z</sub> и ПЛиз<sub>z</sub>-б-ПЭГ<sub>n</sub>-б-ПКЛ<sub>m</sub> были получены методом полимеризации с раскрытием цикла карбоксиангидрида  $\epsilon$ -защищенного производного лизина в результате нуклеофильной атаки терминальных функций предварительно полученных диблок-сополимеров ПЭГ и ПКЛ – амино- и гидроксильной групп. На основе синтезированных сополимеров методом наноосаждения были сформированы наночастицы. Надмолекулярные структуры характеризовались наноразмером (60-145 нм), унимодальным распределением и положительным электрохимическим потенциалом (20-60 мВ). Также были получены и подробно охарактеризованы наночастицы, загруженные цитостатиком диоксадэт, полиплексы модельной миРНК – дуплекса олиготимидин-олигоаденина, содержащего 23 пар оснований, и их со-инкапсулированные наноформы. В ходе исследования установлено влияние длины и последовательности функциональных блоков на физико-химические характеристики полимерных носителей и их способность инкапсулировать и высвобождать лекарственные субстанции.

Дополнительно, для полученных полимерных систем проведено изучение цитотоксичности и ингибирующей активности *in vitro* методом МТТ-анализа, а также эффективности трансфекции и клеточного цикла методом проточной цитометрии.

**Благодарности**

*Исследования проведены с использованием оборудования Научного парка СПбГУ.*

## **СЕКЦИЯ 4**

### ***БИОПОЛИМЕРЫ И ПОЛИМЕРЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ***

**СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

## **4-Р-01**

# **РАЗРАБОТКА БИОПОЛИМЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ДЕКСАМЕТАЗОНА К ВНУТРЕННЕМУ УХУ С ПОВЫШЕННОЙ АДГЕЗИВНОЙ И ПРОНИКАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ**

**Бокатый А.Н., Дубашинская Н.В., Новикова В.П., Скорик Ю.А.**

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
qwezakura@yandex.ru*

В настоящее время около 6% населения в мире (278 млн человек) имеет те или иные патологии слуха, включая глухоту или дефицит слуховой функции (туюхость). В Российской Федерации количество пациентов с нарушением слуха достигает 13 млн человек, из которых около 1 млн – это дети. В целом, 14% пациентов в возрасте от 45 до 64 лет и 30% пациентов старше 65 лет имеют нарушения слуха [1]. Использование полимерных транспортных систем для парентерального введения с целевой доставкой к структурам внутреннего уха, а также полимерные системы доставки лекарств для интратимпанальных инъекций и для введения в форму ушных капель в наружный слуховой проход для доступа к структурам улитки является актуальной научной задачей. Полимерные системы доставки лекарств с замедленным высвобождением могут существенно увеличить период полуыведения действующего вещества, повысив проницаемость, обеспечить контролируемую доставку лекарства к глубоким тканевым структурам, например, перепончатого лабиринта. В качестве таких систем доставки могут быть использованы биополимерные конъюгаты и наночастицы, а также стимул-чувствительные биополимерные гидрогели. Разработка конъюгатов биоактивных молекул с полимерным носителем и биополимерных наночастицы, загруженных лекарством, является эффективной стратегией целевой доставки лекарств благодаря широким возможностям индивидуальной настройки, включая размер, дзетапотенциал, программирование места и скорости высвобождения, стимул-чувствительность, усиленная трансдермальная проницаемость, улучшенное биораспределение, а также потенцирование и синергизм фармакологического действия препаратов. В данной работе были синтезированы конъюгаты дексаметазона с хитозаном с разной молекулярной массой, а также с диэтиламиноэтил-хитозаном и сукцинил-хитозаном. Дексаметазон был конъюгирован с хитозаном и его производным по аминогруппам через сукцинильный линкер методом карбодииimidной активации с использованием 1- этил-3-(3-диметиламинопропил)карбодииимда в качестве активатора.

### **Список литературы:**

[1] Сенсоневральная туюхость у взрослых. Национальные клинические рекомендации.

### **Благодарности**

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-75-20013.*

## **ИОННЫЕ ЖИДКОСТИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГЕМОСТАТИЧЕСКИХ ГИДРОГЕЛЕЙ ИЗ МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

Гайкович М.В.

*НИТУ «МИСИС», г. Москва  
m2401901@edu.misis.ru*

Ионные жидкости (ИЖ) интересны как экологичные растворители микрокристаллической целлюлозы (МКЦ) для создания гемостатических гидрогелей нового поколения. В отличие от традиционных методов, современные ИЖ позволяют растворять МКЦ при температурах до 100°C без разрушения полимерной структуры [1] и с возможностью *in situ* модификации [2]. ИЖ на основе супероснований, таких как [DBU], способны эффективно растворять до 16% МКЦ при 100°C, и 8 % МКЦ при 75 °C [1] и формировать гидрогели с высокой, около 2000% г/г, способностью к набуханию [3]. Гидрогели, полученные из МКЦ в присутствии фосфониевых ИЖ, имеют прочность на сжатие до 40 кПа и потенциал применения в 3D-печати [4]. Функционализация таких систем с помощью оксалатов позволяет ускорить свёртывание крови на 60 % по сравнению с коммерческими аналогами [5]. Остаточные количества ИЖ могут быть эффективно удалены при регенерации целлюлозы [6], что снижает цитотоксичность гидрогелей [7]. Варьирование состава ИЖ позволяет получать пористость в диапазоне 100–300 мкм, что оптимально для обеспечения механической прочности и хорошего прилегания к раневым поверхностям [8]. Эти разработки открывают возможности для производства «умных» гемостатических материалов, способных сочетать направленную биологическую активность, биосовместимость и адаптивную архитектуру. Таким образом, ИЖ можно рассматривать не просто как растворители, а как функциональные платформы для создания биоматериалов нового поколения на основе целлюлозы.

### **Список литературы:**

- [1] Kuzmina, O., Bhardwaj, J., Vincent, S. R., Wanasekara, N. D., Kalossaka, L. M., Griffith, J., Potthast, A., Rahatekar, S., Eichhorn, S. J., Welton, T. *Green Chemistry*, **19** (24), 5949-5957 (2017). [2] Zhang, Y., Li, H., Li, X., Gibril, M. E., Yu, M. *Carbohydrate Polymers*, **99**, 126-131 (2013b). [3] Ci, Y., Chen, T., Li, F., Zou, X., Tang, Y. *International Journal of Biological Macromolecules*, **252**, 126548 (2023). [4] Holding, A. J., Parviainen, A., Kilpeläinen, I., Soto, A., King, A. W. T., Rodríguez, H. *RSC Advances*, **7** (28), 17451-17461 (2017). [5] Zhang, L., Zhan, B., He, Y., Deng, Y., Ji, H., Peng, S., Yan, L. *Green Chemistry*, **26** (15), 8794-8807 (2024). [6] Zhao, H., Jones, C. L., Baker, G. A., Xia, S., Olubajo, O., & Person, V. N. *Journal of Biotechnology*, **139** (1), 47-54 (2008). [7] Pauliukaitytė, I., Čiužas, D., Krugly, E., Baniukaitienė, O., Bulota, M., Petrikaitė, V., Martuzevičius, D. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. (2024). [8] Mukasheva, F., Adilova, L., Dyussenbinov, A., Yernaimanova, B., Abilev, M., Akilbekova, D. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, **12**, 1444986 (2024).

### **Благодарности**

*Автор выражает благодарность научному руководителю д.х.н. Иванову Д.А.*

## 4-Р-03

# РАЗРАБОТКА БИОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА С АНТИСЕПТИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИБОРОВ

Зеленов В.А.<sup>1</sup>, Хайдаров Т.Б.<sup>2</sup>, Тюрин И.А.<sup>3</sup>, Бурмистров И.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*ФГБОУ ВО «РЭУ им Г.В. Плеханова», г. Москва*

<sup>2</sup>*ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», г. Москва*

<sup>3</sup>*ФГБОУ ВО «СГТУ им Ю.А. Гагарина», г. Саратов  
zelenov88@yandex.ru*

Загрязнение пластиком стало глобальной экологической проблемой, что предопределяет необходимость разработки биоразлагаемых полимеров для замены традиционных пластиков в медицинских изделиях. Полилактид (PLA), синтезируемый из возобновляемого растительного сырья, сочетает биосовместимость, экологическую безопасность и хорошие технологические свойства. Вместе с тем устойчивость материалов на его основе к микробиологическому загрязнению остаётся актуальной задачей для медицины. Настоящее исследование направлено на создание и анализ биополимерных композитов на основе PLA с антисептическими добавками соединений переходных металлов. В качестве функциональных наполнителей использованы оксид цинка (ZnO) и полититанат калия (PTK), введённые в полимерную матрицу методом расплава с последующим формованием. Исследование включало определение механических свойств, морфологии поверхности и антибактериальной активности образцов.

Результаты показали, что введение антисептических наполнителей на основе соединений переходных металлов, таких как ZnO и PTK, позволило обеспечить выраженный антибактериальный эффект по отношению к *Escherichia coli*. Эффективность ингибирования роста микроорганизмов возрастала с увеличением содержания функциональных добавок, что подтверждает перспективность их применения для создания бактерицидных материалов. Одновременно установлено, что повышение концентрации наполнителей сопровождается снижением прочностных характеристик материала. Композиты на основе PLA с антисептическими добавками обладают потенциалом для использования в медицинских изделиях, где требуется сочетание антибактериальных свойств и биосовместимости. Дальнейшие исследования направлены на оптимизацию состава для достижения баланса между механическими и функциональными характеристиками.

### **Список литературы:**

- [1] K. M. Nampoothiri, N. R. Nair, and R. P. John, *Bioresour. Technol.* **101** (22), 8493–8501 (2010).
- [2] K. Škrlová *et al.*, *Polym. Test.* **116**, 107760 (2022).
- [3] V. Demchenko *et al.*, *React. Funct. Polym.* **170**, 105096 (2022).

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГЛУБОКОГО ОКИСЛЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

**Иванов Е.М.<sup>1</sup>, Паршина А.Э.<sup>2</sup>, Еремин А.В.<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России, г. Санкт-Петербург*

*<sup>2</sup>Филиал НИЦ «Курчатовский институт»-ПИЯФ-ИВС, г. Санкт-Петербург*

*egor.plusiv@yandex.ru*

Оксицеллюлозы, как индивидуальные соединения и материалы на их основе в настоящее время широко используются в медицине - как гемостатические препараты/изделия для остановки капиллярных, венозных и небольших артериальных кровотечений или как рассасывающиеся барьерные материалы для использования в хирургии. Наибольшую известность получили медицинские материалы и изделия семейства *Surgecel®* (Johnson & Johnson) на основе высокоокисленной регенерированной целлюлозы, содержащие от 10 до 21% (масс) карбоксилатных групп, полностью абсорбируемые в тканях организма в течении 2-3 недель. Стоит отметить, что в настоящее время препараты и медизделия на основе высокоокисленной целлюлозы в РФ практически не производятся, доминирующие поставщики – США и РБ.

Основным методом получения высокоокисленных регенерированных целлюлоз является окисление первичных спиртовых групп у C<sub>(6)</sub>-атома углерода глюкопиранозного кольца оксидом азота(IV) в растворах CCl<sub>4</sub> или хлороформа, при повышенном давлении, или «активация» глюкопиранозного цикла IO<sub>4</sub><sup>-</sup>-ионами или H<sub>5</sub>IO<sub>6</sub>, приводящая к частичному окислению у C<sub>(2)</sub> и C<sub>(3)</sub> атомов углерода, с образованием диальдегидцеллюлозы (ДАГ) с ее последующим доокислением с помощью N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> до соединений, содержащих трикарбоксилцеллюлозные фрагменты. Целью данного исследования являлась разработка метода получения препаратов высокоокисленной целлюлозы, обладающих хорошей биоабсорбцией в живых тканях, из нативной целлюлозы высших растений, для медико-биологического применения.

Было исследовано радикальное окисление высокомолекулярной целлюлозы высших растений в условиях one-pot процесса в присутствии комплексов d-элементов, выполняющих каталитическую функцию. Исследовано влияние параметров процесса на степень окисления целлюлозы, количество образующихся карбокси- и альдегидных групп и изменение молекулярной массы полимера. В мягких условиях получены препараты целлюлозы, содержащие 10% окисленных звеньев.

Результаты исследования могут быть использованы для разработки технологии получения материалов на основе высокоокисленной целлюлозы медико-биологического назначения.

## **СВОЙСТВА СЛОЕВ ВИЦИЛИНА И ЕГО ДОМЕНОВ КУПИНА-1.1 И КУПИНА-1.2 НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ И 8М МОЧЕВИНЫ**

**Исаков Н.А.<sup>1</sup>, Белоусов М.В.<sup>1,2</sup>, Нижников А.А.<sup>1,2</sup>, Носков Б.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Федеральное государственное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии», г. Санкт-Петербург  
st055657@student.spbu.ru*

Растительные белки благодаря их доступности привлекают все больше внимания, но данные о динамических поверхностных свойствах водных систем, содержащих эти белки, остаются ограниченными [1]. В настоящей работе с помощью микробиологического метода были получены вицилин гороха и его домены купина-1.1 и купина-1.2 [2]. Для нанесенных и адсорбционных слоев этих белков изменились поверхностные свойства, в особенности дилатационная упругость.

При сжатии нанесенных слоев этих белков на поверхности чистой воды и 8М мочевине упругость изначально увеличивалась почти пропорционально поверхностному давлению, что соответствует взаимодействию частично развернутых белковых цепей, принадлежащих молекулам белка или мягкой короне агрегатов белков, а по мере дальнейшего сжатия формировалась дальняя область поверхностного слоя, и упругость снижалась из-за обмена сегментами между ближней и дальней областями поверхностного слоя [3]. После минимума упругости слоя взаимодействия между жёсткими ядрами агрегатов приводили к росту поверхностной упругости до максимума. При ещё более сильном сжатии возможно снижение упругости слоя из-за формирования многослойных структур.

Кинетические зависимости для растворов этих белков в 8М мочевине сводились к единым зависимостям (мастер-кривым), уникальным для каждого из рассмотренных белков. После индукционного периода, когда поверхностное давление было близко к нулю, поверхностное давление быстро возрастало, и дальнейшая адсорбция замедлялась, и на мастер-кривых выделялась область квазиплато, когда поверхностное давление медленно возрастает. Дальнейшая адсорбция и уплотнение слоя может сопровождаться увеличением поверхностного давления и упругости слоя.

### **Список литературы:**

- [1] Langevin D., Langmuir **39**, 3821 (2023).
- [2] 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., Lykholyay 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**, e3000564 (2020).
- [3] Noskov B.A., Colloid and Polymer Science **273**, 263 (1995).

### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 24-13-00261).*

## 4-Р-06

# МЕХАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ БЕНЗОКАИНА И ПОЛИСАХАРИДОВ

Крайнова Ю.М.<sup>1</sup>, Малык Б.В.<sup>2,3</sup>, Хавпачев М.А.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>*Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,  
г. Москва*

<sup>2</sup>*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
г. Москва*

<sup>3</sup>*Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко,  
г. Донецк  
ky1112221@yandex.ru*

Бензокайн (этил-4-аминобензоат) занимает особое место в истории фармакологии как первый синтетический анестетик [1]. Несмотря на выраженные анестезирующие свойства, вещество имеет ограниченное применение в клинической практике из-за низкой растворимости в воде (0.04 г/100 мл при 25°C) [2]. Для повышения фармакокинетических свойств труднорастворимых лекарственных веществ (ЛВ) разработаны различные физико-химические подходы. Одним из наиболее перспективных методов, позволяющих решить проблему низкой растворимости ЛВ, является создание твердых дисперсий [3].

Цель работы заключалась в получении твердых дисперсий бензокайна с крахмалом и натриевой солью карбоксиметилцеллюлозы механохимическим методом в двухшнековом экструдере под действием сдвиговых напряжений и изучении их растворимости в воде. В работе продемонстрирована эффективность метода экструзии для получения твердых дисперсий малорастворимого бензокайна с крахмалом и натриевой солью карбоксиметилцеллюлозы. Установлено, что при совместной механической обработке выбранных полимеров и субстанции происходит частичная аморфизация бензокайна и его распределение в смешанной матрице. Результаты инфракрасной спектроскопии подтвердили образование водородных связей между функциональными группами ЛВ и полимеров. Проведенные кинетические исследования показали увеличение растворимости и скорости растворения анестетика в составе твердой дисперсии по сравнению со смесью, не подвергавшейся механообработке. Данные исследования свидетельствуют о возможности использования смеси крахмала и карбоксиметилцеллюлозы в качестве твердого дисперсионного носителя для улучшения биофармацевтических свойств бензокайна.

### Список литературы:

- [1] Bezerra M. M., Leão R.A.C., Miranda L.S.M., de Souza R.O.M.A. Tetrahedron **76**, 131628 (2020).
- [2] Peña M.A., Bustamante P., Escalera B., Reillo A., Bosque-Sendra J.M. Journal of pharmaceutical and biomedical analysis **36** (3), 571 (2004).
- [3] Блынская Е.В., Юдина Д.В., Алексеев К.В., Марахова А.И. Фармация **66** (6), 15 (2017).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FRES-2024-0001).

**СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
СВОБОДНОГО РАДАХЛОРИНА И ВХОДЯЩЕГО В СОСТАВ  
СЕЛЕНСОДЕРЖАЩИХ НАНОСИСТЕМ НА КУЛЬТУРАХ  
ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА**

Круглов С.С.<sup>1</sup>, Данилова А.Б.<sup>1</sup>, Валуева С.В.<sup>1,2</sup>, Морозова П.Ю.<sup>1,2</sup>, Панченко А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Федеральное государственное бюджетное учреждение "Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова" Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» – Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург*

*oncokss@gmail.com*

Настоящая работа посвящена сравнительным исследованиям на культурах опухолевых клеток человека свободного Радахлорина® (ФС-1) и связанного (ФС-2) (ФС-2 - тройная наносистема: наночастица (НЧ) селена/полимерный стабилизатор (ПС)/ФС). Полимер является одновременно стабилизатором НЧ селена в растворе и наноконтейнером для адресной доставки ФС-2. В качестве ПС использовали амфифильные молекулярные щетки с полииimidной или целлюлозной основной цепью и боковыми цепями полиметакриловой кислоты. Синтез НЧ селена осуществлялся в реакции между селенистой и аскорбиновой кислотами в присутствии ПС с последующим введением ФС. Были использованы культуры опухолевых клеток, полученных интраоперационно у пациентов, проходивших лечение в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова: рак мочевого пузыря человека 587 BlCan TVV, рак легкого 1014 LC PNS, меланома 929 mel SVU. Клетки культивировали в планшетах «E-plate 16» аналитической системы xCELLigence®. В лунки с клетками вносили ФС в дозах 5 и 20 мкг/мл, через 24 ч инкубации и смены культуральной среды проводили фотоактивацию лазерным излучением с длиной волны 662 нм и дозой 60 Дж/см<sup>2</sup>. Далее планшеты возвращали в систему xCELLigence® и вели наблюдение в течение 96-196 часов с оценкой пролиферации клеток в режиме реального времени по двум параметрам: Slope, характеризующему скорость роста культуры, и клеточному индексу, ассоциированному с жизнеспособностью клеток. Установлено, что ФС-1 и два варианта ФС-2 обладают сопоставимой эффективностью на всех трех клеточных линиях. При этом клеточная линия рака легкого оказалась более устойчивой к воздействию фотодинамической терапии для всех использованных ФС. Таким образом, ФС-2 перспективны для создания на их основе гибридных наносистем с различными ФС для выполнения флуоресцентной диагностики и фотодинамической терапии. Подобные тройные гибридные наносистемы могут быть актуальными для создания комплексных соединений с другими препаратами, например, химиотерапевтическими.

**Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 24-25-00413).*

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА  
МЕМБРАНЫ ИЗ СОПОЛИМЕРА ВИНИЛИДЕНФТОРИДА С  
ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНОМ ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ  
ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ**

Кукарцева О.В.<sup>1,2</sup>, Больбасов Е.Н.<sup>1,2</sup>, Бузник В.М.<sup>3</sup>

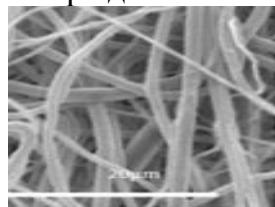
<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск*

<sup>2</sup>*Институт оптики атмосферы им. академика В.Е. Зуева Сибирское отделение  
Российской академии наук*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия  
ovk37@tpu.ru*

К настоящему времени проведены обширные исследования поливинилиденфторида (ПВДФ) и его сополимеров. Изучалась возможность их использования для создания тканеинженерных конструкций, способствующих регенерации тканей за счет пьезоэлектрического эффекта. Одним из таких полимеров, выпускаемых отечественной промышленностью, являются сополимеры винилиденфторида и тетрафторэтилена (ВДФ-ТеФЭ) [1].

В настоящей работе изучено влияние содержания винилиденфторида с тетрафторэтиленом в прядильном растворе; расход прядильного раствора напряжения на инжекторе; расстояния от инжектора до сборочного коллектора и скорости вращения сборочного коллектора на структуру и свойства полимерных мембран из сополимера ВДФ-ТеФЭ, изготовленных методом электроформования. Проведены экспериментальные исследования сформированных мембран методом сканирующей электронной микроскопии. Целью исследований была оценка свойств и структуры образцов (рис.1). На основе полученных данных оптимизированы параметры управления источниками высокого напряжения установки электроформования, оптимизировано соотношение сополимера винилиденфторида с тетрафторэтиленом к смесевому растворителю в прядильном растворе для получения мембран, определены расход прядильного раствора, скорость вращения коллектора и расстояние от инжектора до коллектора.



**Рис. 1 - Структура мембран из сополимера винилиденфторида с тетрафторэтиленом, изготовленных методом электроформования.**

**Список литературы:**

[1] Ameduri B. From vinylidene fluoride (VDF) to the applications of VDF-containing polymers and copolymers: Recent developments and future trends. Chem Rev 2009.

**Благодарности**

*Работа выполнена в рамках реализации проекта Приоритет-2030-НИП/ИЗ-127-375-2023.*

**ТЕРМОДИНАМИКА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ  
ПОЛИГАЛАКТУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ**

Курилова Д.М., Курилова Н.М., Сафонов А.П.

*Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург*  
*dahakurilova@yandex.ru*

Полигалактуроновая кислота представляет собой линейный полимер, молекула которого состоит из связанных 1,4-гликозидными связями остатков  $\alpha$ -D-галактуроновой кислоты. Полигалактуроновую кислоту получают из пектина, который является природным полисахаридом, содержащимся в клеточных стенках растений. Полигалактуроновая кислота обладает хорошими гелеобразующими свойствами и биосовместимостью, что делает ее полезной для применения в областях хозяйства, связанных с обеспечением жизнедеятельности и здоровья человека: в продуктах питания, в косметических средствах, в составе медицинских препаратов, в биотехнологии и биоинженерии. Сама полигалактуроновая кислота в воде не растворима. В то же время ее соли с одновалентными металлами, в частности, с натрием и калием, в воде хорошо растворимы. Именно водные растворы этих солей в основном и используются на практике.

Объектом исследования являлась полигалактуроновая кислота в виде порошка производства фирмы Sigma Aldrich. Соли полигалактуроновой кислоты с ионами натрия и калия готовили путем нейтрализации кислоты растворами соответствующих щелочей. Стехиометрическое соотношение предварительно определяли путем потенциометрического титрования.

С помощью микрокалориметра типа Тиана – Кальве марки МКМ исследованы энталпии растворения полигалактуроната натрия и полигалактуроната калия, а также энталпии разбавления в воде их растворов. Установлено, что энталпия растворения в воде составляет  $-120$  Дж/г для полигалактуроната натрия и  $-80$  Дж/г для полигалактуроната калия. Рассчитаны интегральные значения энталпии смешения полигалактуронатов натрия и калия с водой, которые принимают большие отрицательные значения во всей области составов. Экзотермичность смешения с водой больше для соли натрия, чем для соли калия.

С помощью автоматического анализатора площади поверхности и пористости твердых материалов Micromeritics ASAP 2020 объемным сорбционным методом изучена равновесная сорбция паров воды образцами полигалактуроната натрия и полигалактуроната калия в виде пленок. На основании полученных изотерм сорбции были рассчитаны значения энергии Гиббса смешения полигалактуронатов натрия и калия с водой. Определено, что значения энергии Гиббса смешения принимают отрицательные значения во всей области составов. Наибольшие по абсолютной величине значения наблюдаются для полигалактуроната калия.

На основании значений энталпии и энергии Гиббса смешения были рассчитаны значения энтропии смешения полигалактуронатов натрия и калия с водой. Энтропия смешения солей полигалактуроновой кислоты с водой принимает отрицательные значения, которые по абсолютной величине больше в случае полигалактуроната натрия.

**ГИДРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛАМИДА И АЛЬГИНАТА  
КАЛЬЦИЯ: ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И  
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

Курилова Н.М.<sup>1</sup>, Сафонов А.П.<sup>1,2</sup>, Шкляр Т.Ф.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

<sup>2</sup>Институт электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург

<sup>3</sup>Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург  
*nadyakurilova98@yandex.ru*

В настоящее время уделяется большое внимание изучению материалов на основе природных полимеров, которые обладают биосовместимостью и применяются в медицине и биотехнологии. Такими материалами являются гидрогели на основе природных полисахаридов альгинатов. Недостатками альгинатных гелей являются биодеградация и слабые механические характеристики. Комбинация альгинатов с синтетическим полимером полиакриламидом повышает их стабильность и улучшает механические характеристики гидрогелей.

Целью данной работы являлся синтез гелей с взаимопроникающими сетками на основе полиакриламида и альгината кальция и исследование их механических свойств и термодинамической совместимости компонентов.

Синтез гидрогелей с взаимопроникающими сетками полиакриламида (ПАА) и альгината кальция (CaAlg) проводили в две стадии. Полимеризацию сетки ПАА осуществляли методом радикальной полимеризации в воде. В качестве мономера использовали акриламид с концентрациями 0.8, 1.6 и 3.2 М. Сшивющим агентом служил метилендиакриламид в мольном соотношение к мономеру 1:100. В качестве инициатора использовали персульфат аммония. Для создания сетки CaAlg в реакционную смесь добавляли навеску альгината натрия. Концентрация альгината натрия составляла 0, 1, 3 и 5 %. Полимеризацию ПАА проводили при температуре 80 °C в течение 1 часа. Затем гели помещали в 0.5 М раствор хлорида кальция для образования сетки альгината кальция. Полученные гидрогели промывали в избытке дистиллированной воды в течение 2 недель.

Степень набухания гелей определяли гравиметрическим методом. Установлено, что степень набухания гидрогелей CaAlg/ПАА уменьшается с ростом концентрации ПАА и CaAlg в комбинированной сетке.

Совместимость альгината и полиакриламида в гидрогелях с взаимопроникающими сетками изучалась с помощью термодинамического подхода. Исследование показало, что энталпия взаимодействия между CaAlg и ПАА имеет отрицательные значения, что указывает на энергетически выгодные молекулярные контакты между мономерными звеньями CaAlg и ПАА. В то же время энергия Гиббса смешения была положительной, что говорит о термодинамической несовместимости сеток полимеров.

Механические свойства комбинированных гидрогелей CaAlg/ПАА были определены в режиме одноосного сжатия. Модуль упругости и модуль потерь увеличивались с ростом содержания CaAlg и ПАА в гидрогеле.

## 4-Р-11

# ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОФОРМОВАИЯ ХИТОЗАНА С ЧАСТИЦАМИ ОКСИДА ЦИНКА

Левшицкая Т.А.<sup>1,2</sup>, Пошина Д.Н.<sup>1</sup>, Скорик Ю.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –*

*Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический*

*университет, г. Санкт-Петербург*

*levshitskaya.ta@mail.ru*

Разработка скаффолов с оптимальным составом и архитектурой для регенерации различных типов тканей остается актуальной задачей в области биомедицинского материаловедения. Электроформование волокон с включением наполнителя обладает рядом преимуществ, таких как повышение механической прочности скаффолда и улучшение способности раствора к электроформированию. В качестве наполнителей могут выступать минеральные или органические частицы, которые могут быть как инертными, так и биологически активными. Например, наночастицы ZnO способны катализировать образование синглетного кислорода, что придает им выраженные бактерицидные свойства [1].

В данной работе разработана методика электроформования растворов хитозана с наночастицами ZnO с положительным или отрицательным  $\zeta$ -потенциалом. Наночастицы были синтезированы сотрудниками Университета ИТМО [2]. Традиционно электроформование хитозана проводят из концентрированных растворов уксусной кислоты, обеспечивающих высокую формуемость. Однако для предотвращения растворения ZnO в кислой среде в данной работе использовали свежеприготовленный хитозан-хлорид, растворенный в водно-этанольной смеси. Введение наночастиц ZnO способствовало структурированию раствора и значительному улучшению его способности к электроформированию по сравнению с контрольным образцом без нанонаполнителя. Добавление отрицательно заряженных частиц ZnO приводило к образованию сшитого гидрогеля за счет электростатических взаимодействий с катионными группами хитозана, что делало процесс формования невозможным. Для решения этой проблемы отрицательно заряженные частицы ZnO предварительно покрывали хитозаном. Таким образом, электроформование позволило получить однородные волокна диаметром 100–200 нм без структурных дефектов. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности разработанных материалов для применения в качестве тканеинженерных скаффолов или раневых покрытий.

### Список литературы:

- [1] Evstropiev S.K. et al. Bactericidal properties of ZnO-SnO<sub>2</sub> nanocomposites prepared by polymer-salt method // Materials Science and Engineering: B. – 2021. – V. 264. – P. 114877.
- [2] Khomutinnikova L.L. et al. Ceramic ZnO-SnO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powders and coatings –effective photogenerators of reactive oxygen species // Ceramics. – 2023. – V. 6. – P. 886-897.

## 4-Р-12

# ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ИНЬЕКЦИОННЫЕ ГИДРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ ЖЕЛАТИНА, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ПОЛИ(Н-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДОМ)

Лунева О.В.<sup>1</sup>, Багрий И.В.<sup>2</sup>, Сивцов Е.В.<sup>2</sup>, Коржикова-Влах Е.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИВС, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет), г. Санкт-Петербург  
olya.lun.1995@gmail.com

В последнее время наблюдается рост интереса к использованию инъекционных гидрогелей в качестве носителей терапевтических агентов, ввиду их возможности обеспечивать универсальное инвазивное введение для заполнения полостей произвольной формы. Одним из видов инъекционных гидрогелей могут быть системы на основе термочувствительного механизма гелирования. Преимущество термочувствительных инъекционных гидрогелей заключается в обратимом золь-гель переходе при изменении температуры. Одним из наиболее подходящим по своим свойствам для создания термочувствительных систем биомедицинского применения является поли(*N*-изопропилакриламид) (PNIPAm). В настоящей работе предложено получение инъекционных термочувствительных гидрогелей на основе желатина, содержащего цепи привитого PNIPAm. Синтез объектов исследования проводился в воде путем фотополимеризации предварительно метакрилированного желатина (GelMA) и NIPAm в присутствии фоточувствительного инициатора. Дополнительно была получена серия образцов сшитых гидрогелей за счет введения в полимеризационную смесь различного количества сшивающего агента – *N,N'*-метиленбисакриламида (MBA). Процесс полимеризации проводили в условиях вариации соотношения компонентов полимеризационной смеси, времени УФ-облучения и концентрации сшивающего агента. Полученные полимерные продукты были охарактеризованы с использованием набора физико-химических методов – ЯМР и ИК-спектроскопии, УФ-спектроскопии, а также гель-проникающей хроматографии. Несшитые системы желатин-PNIPAm были исследованы методом динамического рассеяния света и показано формирование наночастиц гидрогеля. Механические свойства полученных гидрогелей были оценены с использованием реологических методов, в том числе, в различных температурных режимах. Подтверждено, наличие термочувствительных свойств гидрогелей при переходе от 20 до 40 °C. Из данных термограмм, полученных методом ДСК, рассчитан процент связанной воды для некоторых образцов гидрогелей. Дополнительно, показано отсутствие цитотоксичности полученных гидрогелей в широком диапазоне концентраций с использованием клеток фибробластов человека.

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 25-73-00379.

## 4-Р-13

# КОМПЛЕКСЫ ЗВЕЗДООБРАЗНЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИ(2-АЛКИЛ-2-ОКСАЗИНА) И КУРКУМИНА СПОСОБНЫ ИЗМЕНЯТЬ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ЛИПИДНЫХ МЕМБРАН

Мартынюк В.А.<sup>1</sup>, Ефимова С.С.<sup>1</sup>, Козина Н.Д.<sup>2</sup>, Кирилэ Т.Ю.<sup>2</sup>, Филиппов А.П.<sup>2</sup>,  
Остроумова О.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт цитологии Российской академии наук, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Филиал федерального государственного бюджетного учреждения

«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова

Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –

Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург.

*martynyuk.va@mail.ru*

Таргетная доставка небольших биологически активных молекул в качестве лекарственных средств представляет собой сложную задачу из-за недостаточной биодоступности. В этом контексте куркумин вызывает интерес благодаря своей противоопухолевой активности и возможности использования наночастиц на основе биополимеров для его доставки. Поли(2-алкил-2-оксазин)ы (ПАОЗин) являются перспективными наноконтейнерами для разработки систем доставки благодаря их высокой биосовместимости, устойчивости к ферментативному гидролизу и способности к биодеградации. В данной работе были исследованы эффекты гексаазы[26]циклофана (ЦФ6), поли(2-метил-2-оксазина) (ПМОЗин), блок-сополимера поли(2-этил-2-оксазина) (ПЭОЗин) и поли(2-изопропил-2-оксазина) (ПИПОЗин), звездообразных блок-сополимеров с шестью ветвями ПАОЗин и центром разветвления ЦФ6 (ЦФ6-ПАОЗин) и комплексы всех макромолекул с куркумином на бислоях, имитирующих мембранны нормальных (из фосфатидилхолина - ФХ) и раковых (из фосфатидилсерина - ФС) клеток.

Для оценки проницаемости мембран использовали электрофизиологический метод регистрации трансмембранных токов и дифференциальную сканирующую микрокалориметрию (ДСК). Показано, что куркумин значительно снижает граничный потенциал бислоев, состоящих из (ФХ) и (ФС), в то время как сополимеры ПМОЗин и ПЭОЗин-блок-ПИПОЗин не влияют на электрические свойства мембран. ДСК мембранных липидов показала, что куркумин и все протестированные макромолекулы оказывают более выраженное влияние на плавление ФС, чем на фазовое поведение ФХ. Показано, что звездообразные блок-сополимеры с соотношением [ПЭОЗин]/[ПИПОЗин] равным 0.8 значительно снижают температуру плавления ФС. Разупорядочивающее воздействие комплексов куркумина с ЦФ6, сополимеров ПЭОЗин-блок-ПИПОЗин или звездообразного блок-сополимера ЦФ6-ПАОЗин с соотношением [ПЭОЗин]/[ПИПОЗин], равным 5, на ФС бислои было меньше, чем алгебраическая сумма эффектов полимеров и куркумина по отдельности. Полученные данные указывают на то, что полимерный носитель способен влиять на биологическую активность переносимого активного соединения, что следует учитывать в дальнейших исследованиях.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-13-00205.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА МНОГОЭТАПНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОАКТИВНЫХ ИМПЛАНТАТОВ

Никифоров А.А.<sup>1</sup>, Степанова М.А.<sup>1</sup>, Назаров Д.В.<sup>2</sup>, Максимов М.Ю.<sup>2</sup>,  
Нащекина Ю.А.<sup>3</sup>, Власова Е.Н.<sup>1</sup>, Коржикова-Влах Е.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константина  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –*

*Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>3</sup>*Институт цитологии Российской академии наук, г. Санкт-Петербург  
anikiforov71@gmail.com*

Титан и его сплавы находят широкое применение в дентальной и ортопедической имплантологии благодаря высокой биосовместимости, коррозионной устойчивости и благоприятному соотношению прочности и плотности. Однако их эффективность ограничена вследствие недостаточной остеointеграции, что может приводить к фиброзной инкапсуляции и образованию биопленок, вызванных бактериальным загрязнением. Это нередко становится причиной клинических осложнений и необходимости повторных операций. Одним из перспективных направлений решения этой проблемы является химическая модификация поверхности титана с целью усиления клеточной адгезии и придания антибактериальных свойств.

В данной работе предложен подход к многослойной модификации поверхности титановых матриц, полученных методом селективного лазерного спекания. Приповерхностный слой матриц подвергался модификации путём ковалентного связывания четырёх слоёв биосовместимого поли-L-лизина. Полученный материал с использованием метода термически индуцированного разделения фаз был внедрён в объём супермакропористой матрицы на основе полилактида, содержащей коньюгат GRGDSP-пептида с поли-L-глутаминовой кислотой. Введение данного коньюгата было направлено на улучшение клеточной адгезии и остеоинтеграции поверхности композиционного материала.

Эффективность поверхностной модификации титана на каждой стадии процесса подтверждалась на модельных пластинах из титана марки ВТ-1-0, а также монокристаллического кремния с помощью ИК-спектроскопии, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, эллипсометрии и измерения краевого угла смачивания. Биосовместимость полученных материалов оценивали *in vitro* с использованием теста МТТ и остеобластоподобных клеток линии MG-63, а также исследования кальций-фосфатной биоминерализации.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания № 1023031700036-2-1.4.4.

## ИЗУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ИЗДЕЛИЯ ИЗ БИОСОВМЕСТИМЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-Л-ЛАКТИДА

Попугаев А.В.<sup>1,2</sup>, Лютова Ж.Б.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»,  
г. Гатчина

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет), г. Санкт-Петербург  
*a.v.popugaev@yandex.ru*

Биосовместимые композиты на основе поли-Л-лактида являются перспективными материалами для изготовления персонализированных имплантов, в том числе для челюстно-лицевых реконструкций. К преимуществам над классическими материалами, такими как титановые сплавы, биокерамика, можно отнести биоразлагаемость, способность к остеointеграции, возможность получения сырья из возобновляемых источников и возможность производства конечной продукции без использования дорогостоящего оборудования. Широкое распространение подобных материалов, однако, ограничивается длительными сроками биодеградации и вероятностью возникновения воспалительных реакций.

Для оценки возможности сокращения сроков биодеградации был поставлен следующий эксперимент. На одношнековом экструдере были получены филаменты из поли-Л-лактида с присадками фуллерена С60, графена и галлуазита в различных концентрациях. После чего способом наплавления нитей на 3D-принтере были получены образцы, которые подверглись воздействию пучка ускоренных электронов. Поглощённые дозы составили диапазон от 0 до 150 кГр, с шагом в 25°кГр.

В работе исследовалось влияние ионизирующего излучения на механические характеристики путём проведения испытаний согласно ГОСТ 11262–2017 [1] и интенсивность потери массы образцов в процессе биодеградации *in vitro* согласно ГОСТ 13781–2011 [2].

### Список литературы:

- [1] ГОСТ Р ИСО 11262–80 «Пластмассы. Метод испытания на растяжение» (утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 февраля 2018 г. № 45-ст).
- [2] ГОСТ Р ИСО 13781—2011. Национальный стандарт Российской Федерации. «Смолы и отформованные элементы на основе поли(Л-лактида) для хирургических имплантатов. Исследование деградации *in vitro*» (утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 июня 2011 г. № 121-ст).

### Благодарности

Коллектив авторов благодарит кафедру Оборудования и робототехники переработки пластмасс СПбГТИ(ТУ) за оказанную помощь при изготовлении филаментов.

## **ИНКАПСУЛЯЦИЯ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ НЕЙТРОН-ЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ В БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ**

Поцелеев В.В., Успенский С.А.

*Институт синтетических полимерных материалов имени Н. С. Ениколова  
РАН, г. Москва  
posceleev01@yandex.ru*

Нейтронозахватная терапия (НЗТ) представляет собой перспективный метод лечения злокачественных опухолей. В настоящее время наиболее распространенными препаратами для НЗТ являются соединения, содержащие изотоп бора-10 ( $^{10}\text{B}$ ), такие как борфенилаланин и боркаптат натрия. Однако их производство требует значительных затрат, а содержание бора в них ограничено (<10%), что приводит к необходимости использования высоких доз препаратов для достижения терапевтического эффекта. В свою очередь, изотоп лития-6 ( $^6\text{Li}$ ) обладает более высоким сечением захвата нейтронов, чем  $^{10}\text{B}$ , что открывает новые перспективы для разработки препаратов на основе  $^6\text{Li}$  для НЗТ. Однако ключевой задачей является создание системы доставки  $^6\text{Li}$  непосредственно к опухолевым тканям.

Для успешного поглощения опухолевыми клетками размер частиц, содержащих литий, должен быть менее 100 нм. Кроме того, важно обеспечить контролируемое высвобождение соединений бора и лития после введения в организм и их целенаправленное поглощение опухолевыми клетками. В данной работе предложена методика создания биоразлагаемых наночастиц на основе полилактида (PLA) и сopolимера лактида и гликолида (PLGA), содержащих внутри соединения лития. Эти полимеры являются биосовместимыми и биоразлагаемыми, что делает их оптимальным выбором для инкапсуляции соединений Li.

Разработана методика синтеза наночастиц на основе PLA и PLGA, содержащих соединения лития. Показано, что размер полученных наночастиц не превышает 100 нм, что обеспечивает их эффективное поглощение опухолевыми клетками. Кроме того, предложенная система позволяет контролировать высвобождение активных соединений, что повышает терапевтическую эффективность препаратов для НЗТ. Таким образом, разработка новых наночастиц на основе лития с контролируемым высвобождением и целенаправленной доставкой является перспективным направлением в развитии нейтронозахватной терапии рака. Использование биосовместимых и биоразлагаемых полимеров, таких как PLA и PLGA, позволяет создать эффективные системы доставки препаратов для НЗТ, что открывает новые возможности для лечения злокачественных опухолей.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки России (грант № FFSM-2025-0003).*

## ПОВЕДЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИ-2-АЛКИЛ-5,6-ДИГИДРООКСАЗИНОВ С КУРКУМИНОМ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Родченко С.В., Кирилл Т.Ю., Филиппов А.П., Теньковцев А.В.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
srfm.rodchenko@gmail.com*

Поли-2-алкил-5,6-дигидрооксазины (ПАОЗин) представляют интерес для биомедицины благодаря способности образовывать комплексы с плохо растворимыми в воде лекарственными веществами (ЛВ) [1,2]. Перспективным направлением является формирование полимерных комплексов типа гость–хозяин, где полимер обеспечивает растворимость и регулирует свойства комплекса. Цель работы – установление строения блок-сополимеров ПАОЗин (Рис. 1) и концентрации на поведение их комплексов с куркумином [3]. Исследования проводили методами рассеяния света и турбидиметрии в деионизованной воде.

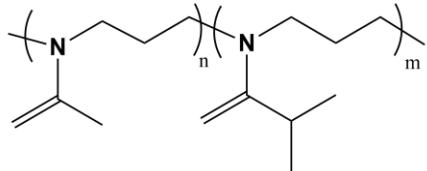


Рис. 1 - Структура блок-сополимеров ПЭОЗин-блок-ПИПОЗин.

В водных растворах получены комплексы блок-сополимеров поли-2-этил-5,6-дигидрооксазина (ПЭОЗин) и поли-2-изопропил-5,6-дигидрооксазина (ПИПОЗин) с куркумином. При комнатной температуре наблюдались два типа частиц: индивидуальные макромолекулы и крупные агрегаты. При нагревании растворов ПЭОЗин-блок-ПИПОЗин с куркумином зафиксирован один фазовый переход, сопровождающийся увеличением гидродинамического радиуса агрегатов до нескольких сотен нанометров. Введение куркумина вызывало повышение температуры фазового разделения ( $T_1$ ) на 2–4 °C, вероятно, из-за высокой плотности агрегатов, препятствующей контактам гидрофобных фрагментов. Установлено, что  $T_1$  зависит от соотношения блоков в ПЭОЗин-блок-ПИПОЗин.

### **Список литературы:**

- [1] Sedlacek O., Hoogenboom R. Advanced Therapeutics **3**, 1900168 (2019).
- [2] Lübtow M.M., Hahn L., Haider M.S., Luxenhofer R. Journal of the American Chemical Society **139**, 10980 (2017).
- [3] Granata G., Consoli G.M.L., Nigro R.L., Malandrino G., Geraciet C. Supramolecular chemistry **28**, 377 (2016).

### **Благодарности**

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-23-00079, <https://rscf.ru/project/23-23-00079/>*

**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В РАСТВОРАХ  
ПОЛИОКСАЗАЛИНОВ МЕТОДОМ АСМ**

**Родченко С.В., Соколова М.П., Смирнов М.А., Кирилэ Т.Ю., Теньковцев А.В.,  
Филиппов А.П.**

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константина  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
srfm.rodchenko@gmail.com*

Актуальной задачей исследований в области новых материалов для медицины является разработка стимул-чувствительных полимеров [1]. С учетом биомедицинских приложений особое внимание привлекают полимерные комплексы типа гость-хозяин, в которых полимер обеспечивает растворимость лекарственных веществ и является инструментом управления свойствами комплекса [2]. Звездообразные блок-сополимеры поли-2-алкил-5,6-дигидрооксазинов являются перспективными макромолекулами-хозяевами благодаря своей нетоксичности и биосовместимости. Куркумин широко используется в качестве молекулы-гостя и привлекает повышенный интерес благодаря своим противоспалительным, антиоксидантным, противораковым и антимикробным свойствам [3].

Ранее [4] были исследованы комплексы блок-сополимеров поли-2-алкил-5,6-дигидрооксазинов с куркумином в водных растворах методами молекулярной гидродинамики и оптики. Были определены гидродинамические радиусы рассеивающих объектов в водных растворах комплексов с куркумином и обнаружен фазовый переход, при котором наблюдался рост размеров агрегатов. Целью настоящей работы являлась визуализация поведения комплексов с куркумином в окрестностях фазового перехода. Для этих целей был использован метод атомно-силовой микроскопии (АСМ), который применяется для оценки с высоким разрешением морфологических характеристик объектов. Показано, что для комплексов при комнатной температуре характерно наличие сферических частиц двух размеров: первые с диаметром 10 - 20 нм, что предположительно соответствует индивидуальным макромолекулам, связанным или не связанным с куркумином, и вторые - агрегаты, размеры которых в десятки раз превосходят размеры макромолекулы (200 - 400 нм). Повышение температуры комплексов приводило к фазовому переходу, при котором наблюдался рост гидродинамических радиусов агрегатов до микронных размеров.

**Список литературы:**

- [1] Zaharanova A. et al. *Adv. Healthc. Mater.* **10**, 2001382 (2021).
- [2] Филиппов А.П. и др. *Известия академии наук.* **74**(6) (2025).
- [3] Singh M. et al. *Mol. Cell. Biochem.* **325**, 107, (2009).
- [5] Филиппов А.П. и др. *Российские нанотехнологии* **20**(1), 58 (2025).

**Благодарности**

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-23-00079, <https://rscf.ru/project/23-23-00079/>.*

## СВЯЗЫВАНИЕ ИОНОВ КАЛЬЦИЯ ГИДРОГЕЛЯМИ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Саликова Е.П.<sup>1,2</sup>, Некрасова Т.Н.<sup>1</sup>, Буянов А. Л.<sup>1</sup>, Фишер А.И.<sup>1,2</sup>, Назарова О.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
национального исследовательского центра «Курчатовский институт»  
– Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего образования "Санкт-Петербургский государственный технологический  
институт (технический университет)", г. Санкт-Петербург  
evasalikova@list.ru*

Актуальной задачей является разработка имплантируемых костных биоматериалов. Ключевыми критериями при этом являются биосовместимость, остеокондуктивность, не токсичность продуктов распада. Гидрогели на основе целлюлозы и акриламида характеризуются высокой прочностью и биосовместимостью, а добавка функционализированных полимеров способствует минерализации костной ткани, оказывая остеокондуктивные и остеоиндуктивные свойства.

В данной работе проведено сравнительное исследование способности связывать ионы кальция  $\text{Ca}^{2+}$  функционализированными гидрогелями. Которые были получены радикальной (со)полимеризацией виниловых мономеров внутри набухших в реакционном растворе матриц из регенерированной растительной целлюлозы. В качестве функционализированных мономеров использовали винильные производные пропансульфоновой (ААМПСК), фосфоновой (ВФК) и алендроновой кислоты (ААлК), а также акриловую кислоту (АкК).

Количество связанного полимерами  $\text{Ca}^{2+}$  определяли потенциометрически с помощью кальций-селективного электрода.

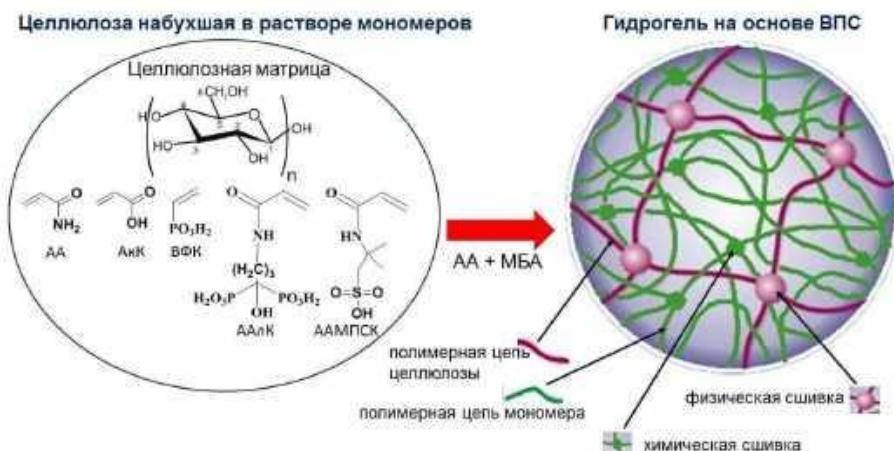


Рис. 1 - Схема реакции.

Обнаружено, что эффективность связывания ионов  $\text{Ca}^{2+}$ , существенно увеличивается при переходе от АА к сополимерам ВФК с АА, ААлК с АА, АкК, ААМПСК с АА. Благодаря низкой токсичности исследованные полимеры перспективны для использования их в инженерии костной ткани.

## **ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ПОЛИПЕПТИДНЫХ НАНОФОРМ ПОЛИМИКСИНА Е**

**Соломаха О.А.<sup>1</sup>, Степанова М.А.<sup>1</sup>, Никифоров А.А.<sup>1</sup>, Нащекина Ю.А.<sup>2</sup>,  
Егорова Т.С.<sup>3</sup>, Демьянова Е.<sup>3</sup>, Коржикова-Влах Е.Г.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Филиал НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИВС, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Институт цитологии РАН, г. Санкт-Петербург*

<sup>3</sup>*Государственный научно-исследовательский институт особо чистых  
биопрепаратов ФМБА России, г. Санкт-Петербург  
solumanya@bk.ru*

Полимиксин Е является пептидным антибиотиком, который используется для лечения инфекционных заболеваний, вызванных грамотрицательными бактериями с множественной лекарственной устойчивостью. Однако его системное применение ограничено выраженной нефро- и нейротоксичностью, в связи с чем в клинической практике преимущественно используют местные формы препарата. В данной работе предлагается получение наноформ направленной доставки полимиксина Е (колистина, КТ) в зону бактериального воспаления.

В ходе данной работы были получены конъюгаты на основе поли(*L*-глутаминовой кислоты-*ко-L*-лейцина) (ПГЛ) и сидерофора – дефероксамина (ДФОА). Для этого проводили реакцию между концевой аминогруппой ДФОА и предварительно активированными карбоксильными группами ПГЛ (10 мол%). Содержание ДФОА составляло 86 мкг/мг ПГЛ (или 79 мкг/мг конъюгата). На основе полученного конъюгата были сформированы наночастицы, гидродинамический диаметр которых составил 540 нм. Для повышения стабильности наноформы в кровотоке наночастицы сшивали рН-чувствительным аминолинкером, используя карбодиимиидный метод. При этом использовали два варианта последовательности загрузки и сшивания, а именно, сначала проводили сшивание полимерных цепей в наночастицах с последующей загрузкой КТ (ПЛГ-ДФОА/КТ-1), или наоборот сначала инкапсулирование КТ, а затем сшивание (ПЛГ-ДФОА/КТ-2). В качестве контроля были получены наформы, содержащие инкапсулированный КТ без проведения сшивания (ПЛГ-ДФОА/КТ). В зависимости от способа получения гидродинамический диаметр наноформ КТ, электрохимический потенциал, эффективность инкапсулирования и загрузка КТ в наночастицы варьировались в диапазонах: 379 – 583 нм, -8.9–(-18.3) мВ, 85 – 100 % и 256 – 310 мкг/мг конъюгата, соответственно. Анализ объектов исследования проводили методами ЯМР- и УФ-спектроскопии, динамического рассеяния света и количественной ВЭЖХ.

Для полученных наноформ КТ была исследована скорость высвобождения инкапсулированного антибиотика в модельных физиологических средах. Дополнительно, в сравнении со свободным КТ были получены данные о цитотоксичности наноформ КТ для эмбриональных клеток почек человека (НЕК 293), а также антибактериальных свойствах полученных систем в отношении *Pseudomonas aeruginosa*. В последнем случае, установлено влияние хелатирования ионов Fe<sup>3+</sup> ДФОА в составе ПГЛ на антимикробную активность наноформ КТ.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 19-73-20157).*

## ОКИСЛЕННЫЙ ГРАФЕН С КОВАЛЕНТНО КОНЬЮГИРОВАННОЙ ПОЛИ(ГЛУТАМИНОВОЙ КИСЛОТОЙ) В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ БИОДЕГРАДИРУЕМЫХ ПОЛИМЕРОВ

Соломаха О.А., Степанова М.А., Гофман И.В., Добродумов А.В.,  
Коржикова-Влах Е.Г.

*Филиал Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» -  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
solomanya@bk.ru*

Способность окисленного графена (ОГ) стимулировать адгезию, пролиферацию и остеогенную дифференцировку является привлекательным свойством при разработке композиционных материалов для регенерации костных тканей. В качестве материалов для остеопластики, чаще всего рассматривают композиты на основе биосовместимых и биодеградируемых сложных полиэфиров (поли-ε-капролактон (ПКЛ), полилактид, поли(лактид-со-гликолид), армированных различными наполнителями, с целью придания остеокондуктивных и/или остеоиндуктивных свойств.

Данная работа посвящена модификации ОГ поли(глутаминовой кислотой) (ОГ-ПГлу) и использования ее в качестве наполнителя для получения композиционного остеопластического материала. Модификация ОГ-ПГлу была подтверждена методами ИК-спектроскопии, термогравиметрического анализа, динамического и электрофоретического рассеяния света. Количество коньюгированной аминокислоты составило 105 мг на 1 г ОГ, размер частиц равен 640 нм, а заряд –45 мВ. Изучение цитотоксичности *in vitro* (MTT-тест, клеточная линия MG-63) в течение 72 ч продемонстрировало выживаемость более 70% клеток вплоть до концентрации до 0.25 мг/мл.

С целью изучения влияния наполнителя на свойства получаемого материала, на основе ПКЛ были изготовлены композиционные пленки с содержанием 1.0 масс% ОГ-ПГлу. Механические испытания в тестах на растяжение полученного композита показали, что модуль упругости составляет 492 МПа, предел пластичности и прочности – 14 МПа, предельная деформация до разрушения – 12 МПа. Кроме того, для полученного материала была изучена способность к биоминерализации путем стимулирования остеогенной дифференцировки мезенхимальных стволовых клеток, адгезированных на поверхности разработанных материалов. Анализируя полученные данные, можно заключить, что использование данного наполнителя приводит к получению биосовместимого материала, не обладающего токсичностью для клеток, способного успешно адгезировать на своей поверхности стволовые клетки и эффективно связывать ионы кальция.

Таким образом, полученные частицы продемонстрировали значительный потенциал для применения в качестве наполнителя для биодеградируемых матриц на основе алифатических сложных полиэфиров, использующихся в разработке остеопластических материалов.

**СТАБИЛИЗАЦИЯ ДИСПЕРСИИ НАНОЧАСТИЦ АСПАРАГИНАТА  
ХИТОЗАНА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ  
ПРЕДШЕСТВЕННИКАМИ**

Шипенок К.М., Мажикенова А.М., Шиповская А.Б.

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов  
kshipenok@gmail.com*

Для получения органо-неорганических нанокомпозитных материалов на основе хитозана в качестве предшественника кремнийорганической сетки (Si—O—Si) традиционно используют тетраэтоксисилан. Однако при гидролизе данного золь-гель прекурсора образуется этанол, осаждающий хитозановые полимеры. В настоящей работе исследована возможность получения агрегативно и седиментационно устойчивых наночастиц аспарагината хитозана, формирующихся в процессе противоионной конденсации поликатиона с противоионами кислотного остатка, с использованием новых биологически активных предшественников, исключающих образование дестабилизирующих побочных продуктов золь-гель реакции: метилтриглицеролата ( $\text{MeSi(OGly)}_3$ ), диметилдиглицеролата ( $\text{Me}_2\text{Si(OGly)}_2$ ), тетраглицеролата ( $\text{Si(OGly)}_4$ ) и тетраполиэтиленгликолята кремния ( $\text{Si}[\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_9\text{H}]$ ), а также тетраполиэтиленгликолята титана ( $\text{Ti}[\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_9\text{H}]$ ).

Проведена оценка влияния модификаторов на основные коллоидные характеристики дисперсии оболочечных наночастиц аспарагината хитозана. Установлено, что диаметр наночастиц свежеприготовленной дисперсии возрастает в ряду золь-гель предшественников  $\text{Me}_2\text{Si(OGly)}_2 \rightarrow \text{Si}[\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_9\text{H}] \rightarrow \text{MeSi(OGly)}_3 \rightarrow \text{Si(OGly)}_4 \rightarrow \text{Ti}[\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_9\text{H}]$ . При этом наименьшая полидисперсность наблюдается для нанодисперсии, модифицированной  $\text{Si(OGly)}_4$ , наибольшая –  $\text{Ti}[\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_9\text{H}]$ . Наночастицы с Si- или Ti-содержащим покрытием, за исключением  $\text{Me}_2\text{Si(OGly)}_2$ , соответствуют кинетически устойчивым нанодисперсиям: электрохимический потенциал составляют 35–40 мВ, проводимость – 0.58–0.73 мС/см. Нанодисперсии, полученные с применением  $\text{Si(OGly)}_4$ , сохраняют коллоидную устойчивость в течение двух лет хранения при 4°C. Для образцов, функционализированных  $\text{Si}[\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_9\text{H}]$ , со временем наблюдается незначительное уменьшение размера частиц и повышение полидисперсности,  $\text{Ti}[\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_9\text{H}]$  – значимое снижение размера и  $\zeta$ -потенциала частиц,  $\text{MeSi(OGly)}_3$  и  $\text{Me}_2\text{Si(OGly)}_2$  – значимое увеличение размера, полидисперсности и поверхностного натяжения. Наиболее оптимальным модификатором для получения кинетически стабильных дисперсий наночастиц аспарагината хитозана с заданными физико-химическими свойствами является тетраглицеролат кремния. Отмечено, что наночастицы, стабилизированные полисилоксановой оболочечной сеткой из  $\text{Si(OGly)}_4$ , обладают высокой ростостимулирующей активностью в отношении растений, а также проявляют антифунгальную активность в отношении фитопатогенных грибов.

**Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект №24-16-00172, <https://rscf.ru/project/24-16-00172/>*

# КОНТРОЛИРУЕМАЯ РАДИКАЛЬНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ СИСТЕМ ВИНИЛПИРРОЛИДОН-ВИНИЛСУКЦИНИМИД ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ БИОМАРКЕРОВ

Яковлев В.В.<sup>1</sup>, Еремин А.В.<sup>2,3</sup>, Саликова Е.П.<sup>1,2</sup>, Сивцов Е.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО СПбГТИ (ТУ), г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Филиал НИЦ «Курчатовский институт»-ПИЯФ-ИВС, г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России, г. Санкт-Петербург  
yakovlev8t@gmail.com

Металлокомплексные полимерные системы, обладающие выдающимися люминесцентными свойствами, с одной стороны, а с другой – биосовместимостью, отсутствием токсичности способны выступать как маркеры биовизуализации процессов в живых системах и могут использоваться в биологии, медицине, биохимии и многих других областях исследований.

Как биомаркеры особенно интересны металлполимерные соединения на основе биосовместимых амфи菲尔ных сополимеров *N*-винилпирролидона (ВП) с *N*-венилсукцинимидом (ВСИ), гидролизованные формы которых, содержащие вторичные амино- и карбоксильные группы, могут выступать в качестве хелатирующих центров процессов комплексообразования с соединениями тербия, обладающих яркой люминисценций при возбуждении стандартными источниками подсветки, используемыми в конфокальной микроскопии.

Целью данного исследования является получение сополимеров ВП/ВСИ, анализ их свойств и состава, получение гидролизных форм и получение люминесцентных металлополимерных комплексов тербия (МПК) на их основе.

Были исследованы процессы классической и контролируемой (RAFT) радикальной полимеризация ВП и ВСИ с использованием агента обратимой передачи цепи - метил-2-[метил(4-пиридинил)карбамотиолтио]пропионата. Были получены серии сополимеров с содержанием ВСИ от 1 до 25% (мольн.) и ММ 20 - 100 кДа. Раскрытие сукцинимидного цикла в синтезированных сополимерах осуществляли щелочным гидролизом. Полученные сополимеры и их гидролизные формы охарактеризованы методами ИК и ЯМР <sup>1</sup>Н-спектроскопии, ДСК, термическим и элементным анализом, кондуктометрией (определение карбоксилатных групп).

Наибольшая интенсивность люминесценции и максимальный квантовый выход наблюдались для образцов, содержащих минимальное количество хеллатных сайтов и металлоцентров в полимерной цепи, что может быть объяснено «антенным эффектом» цепи и низкой вероятностью концентрационного тушения люминесценции.

Таким образом данное исследование показывает возможность получения нетоксичных МПК люминесцентных маркеров на основе сополимеров ВП/ВСИ.

## ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЕ БИОМИМЕТИЧЕСКИХ СКАФФОЛДОВ НА ОСНОВЕ ФОТОСШИВАЕМОГО ДЕКСТРАНА

Янг Г.Ф.<sup>1,2</sup>, Пошина Д.Н.<sup>1</sup>, Скорик Ю.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет), г. Санкт-Петербург  
greg9061@gmail.com*

Метод электроформования позволяет синтезировать нановолокнистые материалы с диаметром волокон в диапазоне 50–500 нм. Подобная морфология эффективно воспроизводит архитектуру естественного внеклеточного матрикса и микросреду, благоприятную для клеточной пролиферации, что способствует ускоренной регенерации тканей. Технология обеспечивает возможность формования волокон из широкого спектра природных и синтетических полимеров, включая биологически активные полисахариды. Последние представляют особый интерес для тканевой инженерии и регенеративной медицины благодаря сочетанию биодеградируемости и способности к специальному взаимодействию с клетками.

В данном исследовании были разработаны скаффолды на основе фотосшиваемого производного декстрана. Декстрон — бактериальный полисахарид, состоящий из α-1,6-связанных остатков D-глюкопиранозы, синтезируемый микроорганизмами родов *Leconostoc* и *Streptococcus*. Его применение в качестве основы для скаффолдов особенно перспективно для регенерации мягких тканей, поскольку он способен модулировать клеточную адгезию за счет сорбции белков внеклеточного матрикса.

Фотоотверждаемое производное декстрана было синтезировано реакцией с глицидилметакрилатом, а его структура подтверждена методом <sup>1</sup>Н ЯМР-спектроскопии. Формование волокон проводилось по бескапиллярной технологии NanoSpider из водного раствора, содержащего метакрилированный декстрон и полиэтиленоксид, при напряжении 40 кВ, межэлектродном расстоянии 24 см и скорости вращения прядильного электрода 9 об/мин. Полученные образцы подвергались УФ-шиванию в присутствии фотоинициатора I2959, при этом эффективная сшивка достиглась при степени замещения метакрильными группами выше 5%. Сканирующая электронная микроскопия продемонстрировала формирование гладких, однородных волокон диаметром 200–300 нм, а также высокопористую структуру материала со средним размером пор 100–500 нм.

В рамках дальнейших исследований планируется оценка цитосовместимости полученных скаффолдов с мезенхимальными стромальными клетками. Таким образом, сочетание контролируемых морфологических характеристик (диаметр волокон, пористость) и биологических свойств делает разработанный материал перспективным для применения в тканевой инженерии или регенеративной медицине.

## **СЕКЦИЯ 4**

# ***БИОПОЛИМЕРЫ И ПОЛИМЕРЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ***

**ЗАОЧНЫЕ ДОКЛАДЫ**

## 4-С-01

# СВОЙСТВА ХИТОЗАНОВЫХ ГИДРОГЕЛИЙ С 5-НОРБОРНЕНОВЫМ КРОСС-ЛИНКЕРОМ

Абдурахимов Т.Д., Галимуллин Р.Р., Мингалеева Г.Р.\*<sup>\*</sup>, Мингалеев В.З.

Уфимский институт химии УФИЦ РАН, г. Уфа  
Mingaleevagalina@yandex.ru

В работе используя только 5-норборнен-3,3-дикарбоновую кислоту и ее ангидрида получены два типа геля ионные, ковалентно-ионные без дополнительных агентов (рис.1). Третий тип геля - ковалентный был получен термостатированием ковалентно-ионного геля. Для всех типов гелей показано влияние концентрации кросс-линкера на свойства сетчатой структуры используя реологических данных по вязкоупругой модели Максвелла [1]. В результате сравнительного анализа всех значений, показано, что не только количество сшивателя оказывает влияние на свойства полученных гелей, большое влияние имеет тип связи между цепью биополимера и кросс-линкером. Также установлено, что термостатированием ковалентно-ионных гелей от времени (24, 32 и 48 часов), можно регулировать свойствами и параметрами гелей, уменьшать ионные сшивки, увеличивать ковалентные – это имеет большое значение для настройки и регулировки размера ячейки для биомедицинских применений гелей.

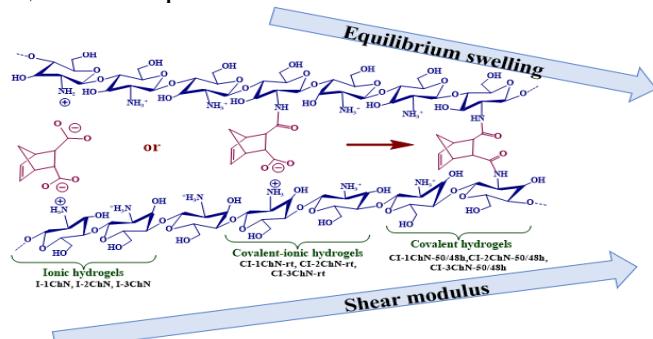


Рис. 1 - Общая схема типов хитозановых гидрогелей с 5-норборненовым кросс-линкером

Табл. Модуль сдвига и параметры молекулярного строения гидрогелей хитозана

Гидрогель	Кон-ция сшивателя	G, Pa	v, mol/m <sup>3</sup>	ξ, nm	M <sub>c</sub> , g/mol
I-3ChN	0,125M	484±58	0.19±0.02	25.3±1.1	85148±8532
I-2ChN	0,25M	536±54	0.21±0.02	24.5±0.8	76903±7767
I-1ChN	0,5M	930±84	0.37±0.03	20.4±0.6	44414±3999
CI-3 ChN-rt	0,125M	2998±240	1.21±0.06	13.8±0.40	13771±1101
CI-2ChN-rt	0,25M	3205±192	1.29±0.07	13.5±0.31	12884±773
CI-1 ChN-rt	0,5M	3718±149	1.50±0.06	12.8±0.16	11106±444
CI-2ChN-50/24h	0,25M	10617±425	4.28±0.17	9.1±0.11	3889±156
CI-2ChN-50/32h	0,25M	13638±409	5.51±0.22	8.3±0.10	3027±90
CI-2ChN-50/48h	0,25M	19152±382	7.73±0.15	7.4±0.11	2156±48

### Список литературы:

[1]. Mingaleeva GR, et. all Russ Journal of General Chemistry **94** (10), 2638 (2024).

## 4-С-02

# СИНТЕЗ ЛАКТИДА ИЗ ОЛИГОМЕРОВ МОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ КИСЛОТАМИ

Ерохина Ю.С., Алиев Г.Ш., Томс Р.В., Гервальд А.Ю.

*МИРЭА – Российский Технологический Университет, Институт тонких  
химических технологий им. М. В. Ломоносова, г. Москва  
erokhina.y.s@edu.mirea.ru*

Полилактид – один из наиболее коммерчески успешных и перспективных биополимеров. Он обладает биосовместимостью и биоразлагаемостью [1]. Основным способом синтеза полилактида является полимеризация с раскрытием цикла мономера лактида, который получают в процессе деполимеризации олигомеров молочной кислоты. Процесс проводят в присутствии катализатора при высоких температурах. Такие условия способствуют увеличению молекулярной массы олигомеров и вязкости расплава, а также образованию побочных продуктов, которые значительно снижают выход лактида и его оптическую чистоту. Однако, модификация олигомеров молочной кислоты органическими кислотами позволяет снизить степень рацемизации и, как следствие, повысить оптическую чистоту лактида, что в свою очередь приведет к снижению количества отходов производства и затрат на дальнейшую очистку [2].

В работе были получены олигомеры молочной кислоты с использованием в качестве сомономеров таких органических кислот, как адипиновая (АК), лимонная (ЛК) и янтарная (ЯК), взятых в концентрациях 0,7 и 1,4 % мольн. Синтез олигомеров проводили с использованием катализатора  $\text{Sn}(\text{Oct})_2$  в концентрации 0,5 % масс. в течение 6 часов в интервале температур от 140 до 180 °C и пониженном давлении (50 мбар). Последующую деполимеризацию осуществляли при температуре 210 °C и давлении менее 10 мбар.

Методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР) был установлен состав лактида-сырца, полученного без модификации и с использованием сомономеров. Было определено содержание L-лактида, мезо-лактида, олигомеров и свободной кислоты. Для всех образцов, полученных из модифицированных олигомеров, доля L-лактида была выше при использовании органических кислот в концентрации 1,4 % мольн. Содержание L-лактида для образца без модификации составило 84 %, в то время как для образцов, модифицированных АК, ЛК и ЯК, составило 79,4 %, 88,5 %, 89,3 % соответственно. Выход лактида-сырца, полученного из олигомеров без модификации, составил 57 %, а для образцов, модифицированных АК, ЛК, ЯК, взятых в концентрации 1,4 % мольн, составил 39,3 %, 22,8 % и 25,7 % соответственно. Таким образом, добавление некоторых органических кислот при небольших концентрациях способно повысить оптическую чистоту получаемого лактида, однако, при этом существенно снижая выход.

### Список литературы:

- [1] Aliev G., Toms R., Melnikov P., Gervald A., Glushcenko L., Sedush N., Chvalun S. Polymers **16** (5), 624-648 (2024).
- [2] Inkinen S., Nobes G.A., Sodergard A. Journal of Applied Polymer Science **119** (5), 2602-2610 (2011).

## 4-С-03

# ПРОЦЕССЫ САМОСБОРКИ, ГЕЛЕ- И ПЛЕНКООБРАЗОВАНИЯ В ЦИСТЕИН-СЕРЕБРЯНОМ РАСТВОРЕ ПРИ ДОБАВЛЕНИИ КАРРАГИНАНА

Ершов Н.А., Хижняк С.Д., Пахомов П.М.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный университет», г. Тверь  
nikitka.ershov.00@mail.ru*

В настоящее время в биомедицине активно идет поиск новых систем, которые используются для доставки лекарственных препаратов и могут быть использованы в тканевой инженерии. Одними из самых перспективных материалов для этих целей являются полимеры растительного происхождения, среди которых особенно выделяются полисахариды, в том числе каррагинан (КАР). КАР привлекает внимание исследователей благодаря своим уникальным свойствам, таким как биосовместимость, биодеградируемость, нетоксичность, водорастворимость и антимикробная активность [1]. Поэтому целью настоящей работы явилось исследование процессов самосборки в смешанном водном растворе КАР и ЦСР (цистеин-серебряный раствор с низкой концентрацией растворенных в воде веществ ~0,01%, обладающий хорошими антибактериальными свойствами [2]), а также выяснение возможности получения на основе этого смешанного раствора гидрогелей и пленок.

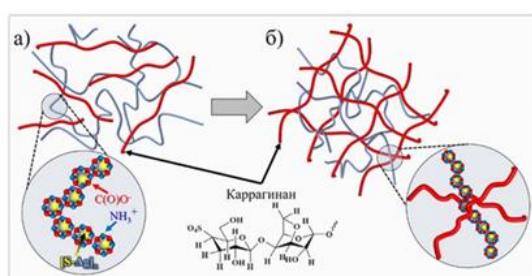


Рис. 1 - Схема строения пространственной сетки гидрогеля на основе смешанного раствора ЦСР/КАР при малом (а) и при повышенном содержании КАР (б).

макромолекулярную природу, а при концентрации КАР 2,0% удалось получить из раствора прозрачные пленки, обладающие неплохими механическими свойствами. На основе полученных данных предложена схема строения супрамолекулярного и макромолекулярного гидрогеля, полученных из смешанного раствора ЦСР/КАР.

### Список литературы:

- [1] Mirzaei A. Journal of Polymers and the Environment – 2022. №5(3), С. 734-745.
- [2] Пахомов, П.М. Супрамолекулярные гели (монография) / П.М. Пахомов, С.Д. Хижняк, М.М. Овчинников, П.В. Комаров // Тверь: Тверской гос. ун-т. 2011.- С. 272.

## 4-С-04

### ПОЛУЧЕНИЕ СЕТЧАТОГО ПОЛИМЕРА ИЗ АКРИЛАТА НАТРИЯ И НОВОГО КРОСС-ЛИНКЕРА 10-УНДЕЦЕНИЛ-10-УНДЕЦЕНОАТА

Мулюкова С.М., Сагитова А.Ф., Мингалеева Г.Р.\*<sup>†</sup>, Мингалеев В.З.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Уфимский

институт химии Российской академии наук, г. Уфа

\*Mingaleevagalina@yandex.ru

Сетчатые гидрогели, являются биосовместимыми полимерными материалами, нашли широкое применения в медицине для систем адресной доставки лекарств стимул-чувствительных систем, ранозаживляющих пленок, имплантатов, в качестве биочернил в регенеративной медицине и др. В данной работе представлен инновационный подход к синтезу гидрогелей на основе акрилата натрия, где впервые в качестве сшивающего агента использован 10-ундеценил-10-ундеценоат, обеспечивающий новые возможности для создания материалов с новыми свойствами (Рис. 1). Синтез кросс-линкера 10-ундеценил-10-ундеценоата осуществлен нами в 4 стадии из доступной 10-ундеценовой кислоты [1], которая в свою очередь получена из касторового масла (*Ricinus Communis L.*). Сама ундеценовая кислота обладает антибактериальными и противогрибковыми свойствами, применяется в медицине в качестве фунгицидного средства, для получения пластификаторов, смазок, полимеров и сополимеров, композитных материалов.

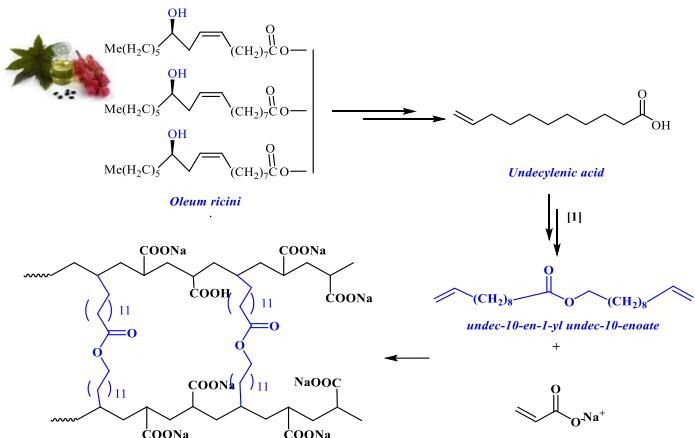


Рис. 1 - Схема синтеза кросс-линкера 10-ундеценил-10-ундеценоата и сетчатого полимера из акрилата натрия и кросс-линкера.

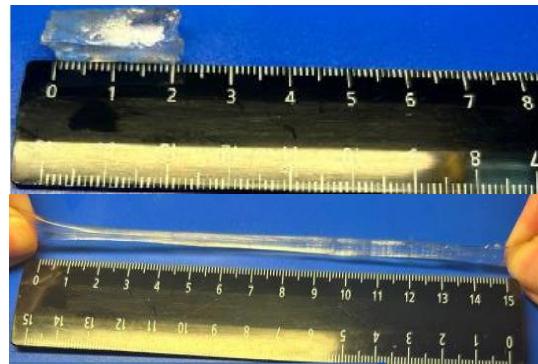


Рис.2 - Высокоэластические свойства шитого сетчатого полимера.

Полученный новый сетчатый полимер был исследован нами реологические тесты, изучены его свободное набухание, набухание под давлением, выполнен его термогравиметрический анализ. На рис.2. представлены его высокоэластические свойства. Данный полимер показал высокую способность свободного набухания в воде и в солевом растворе, а также набухания под давлением, хорошую способность задерживать жидкость в солевом растворе после центрифугирования,

#### Список литературы:

- [1] Mingaleeva G.R. et al.// Russian Journal of Organic Chemistry. 2024. Т. 60. № 2. С. 206-210.

## **4-С-05**

# **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭМБОЛИЗАЦИИ НА МИКРОФЛЮИДНОЙ УСТАНОВКЕ**

Пушенко Т.С., Небесная Д.В., Нормов А.М., Карпов Н.В., Жаворонок Е.С.

*МИРЭА — Российский технологический университет, г. Москва*  
*pushenkotaisia04@gmail.com*

Эмболизация – намеренная избирательная закупорка кровеносных сосудов специализированными материалами. В настоящее время эмболизация является одним из современных направлений в терапии широкого спектра патологий различных органов и врожденных аномалий сосудов. В качестве материалов для эмболизации большой популярностью пользуются жидкие неадгезивные агенты, представляющие собой растворы биологически совместимых полимеров в подходящих водорастворимых растворителях в присутствии рентгеноконтрастного агента. При введении такого агента в кровеносное русло растворитель уходит в кровь, а полимер формирует нерастворимую массу, которая и закупоривает кровеносный сосуд. Важное значение для эффективности такой процедуры, выполняемой при определенной скорости кровотока (в зависимости от закупориваемого кровеносного сосуда) имеет скорость подачи эмболизирующего агента, однако влияние этих параметров в таких процессах практически не изучено. В связи с этим, целью данной работы было исследование эффективности эмболизации при варьировании условий введения раствора полимера в водную среду, моделирующую кровь.

В качестве основного объекта исследования использовали 6 мас.% раствор ацетата целлюлозы марки Ксенитон (АО ИФТ) в диметилсульфоксиде (х.ч.), имеющий вязкость 195 мПа·с при 23 °С. Для проведения исследования была использована микрофлюидная установка Qmix Pro Ext (Wingflow AG, Швейцария) с Т-образным рабочим узлом, в котором происходило смешение потока воды и эмболизирующего агента, подаваемого через шприцы калибра от 23G до 30G. Шприцевые насосы установки позволяют варьировать скорость подачи раствора в пределах 0.5-5.0 мл/мин и скорость подачи водной среды, моделирующей кровь, в диапазоне 0.3-18.0 мл/мин. После введения агента в капилляр фиксировали время полного блокирования потока воды и длину образовавшегося твердого эмболя.

В результате эксперимента показано, что с ростом калибра иглы время эмболизации растет. Чем выше скорость водной среды, моделирующей кровь, тем длиннее получаемый эмбол и тем меньше время его образования. При этом калибр капилляра практически не влияет на длину образовавшегося эмболя (в пределах погрешности). Предложенный способ оценки параметров эмболизации будет использован для исследования других жидких неадгезивных эмболизирующих составов.

## 4-С-06

# АМФИФИЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ХИТОЗАНА ДЛЯ ДОСТАВКИ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ

Ракшина А.Д.<sup>1,2</sup>, Пошина Д.Н.<sup>1</sup>, Скорик Ю.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический  
университет, г. Санкт-Петербург  
rakshina.an@mail.ru*

Аминополисахарид хитозан представляет собой перспективный вектор для генной терапии благодаря своей биосовместимости, низкой токсичности, доступности, а также способности подвергаться разнообразным химическим модификациям. Повышение катионной плотности хитозана за счёт химической модификации способствует усилению связывания с нуклеиновыми кислотами в составе полиплексов. Однако для достижения высокой эффективности трансфекции необходимо обеспечить не только устойчивость комплекса вне клетки, но и его контролируемую внутриклеточную диссоциацию. Одним из перспективных подходов к решению этой задачи является введение гидрофобных заместителей, которые, снижая стабильность полиплексов в цитоплазме, одновременно могут усиливать взаимодействие вектора с клеточной мембраной, облегчая процесс проникновения [1].

В рамках данного исследования синтезирован ряд амфи菲尔ных производных хитозана, содержащих как гидрофильные (диэтиламиноэтильные группы), так и гидрофобные (остатки дезоксихолиевой кислоты и сукцинил-токоферола) фрагменты. Введение диэтиламиноэтильных групп способствует увеличению катионной плотности и улучшению растворимости полимера в физиологических условиях. Структура полученных соединений подтверждена методами <sup>1</sup>Н ЯМР и ИК спектроскопии. Способность модифицированных производных к самосборке в наночастицы исследована методом динамического рассеяния света. Показано, что синтезированные производные эффективно связывают ДНК при массовом соотношении 5:1, что подтверждено методом гель-электрофоретической ретардации. При этом гидрофобная модификация хитозана способствует снижению устойчивости полиплексов, что демонстрируется в тесте на конкурентное вытеснение бромистого этидия. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности разработанных амфи菲尔ных производных хитозана в качестве эффективных векторов с настраиваемыми свойствами для доставки нуклеиновых кислот.

### **Список литературы:**

- [1] Poshina D.N. et al. Hydrophobic chitosan derivatives for gene and drug delivery in cancer therapies // Polysaccharides. – 2025. – V. 6, No 1. – P. 11.

## ПОЛУЧЕНИЕ СУЛЬФАТИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ГАЛАКТОГЛЮКОМАННАНА С ИЗУЧЕНИЕМ ИХ АНТИКОАГУЛЯНТНОЙ АКТИВНОСТИ

Семке Е.Н.<sup>1,2</sup>, Середа М.В.<sup>1,2</sup>, Маляр Ю.Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт химии и химической технологии СО РАН, г. Красноярск*

<sup>2</sup>*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*

*ms.ksemke@mail.ru*

В последние годы растет интерес к природным полисахаридам, таким как галактоглюкоманнаны (ГГМ), в связи с их биосовместимостью и возможностью химической модификации для придания новых функциональных свойств [1]. Одним из перспективных подходов является сульфатирование полисахаридов, которое позволяет получать вещества с выраженной антикоагулянтной активностью, потенциально применимые в биомедицине, в частности как заменители гепарина [2].

Сульфатирование ГГМ с использованием сульфаминовой кислоты и мочевины в среде 1,4-диоксана позволяет контролировать степень замещения, варьируя продолжительность реакции, что отражается на биологической активности полученных образцов. В рамках работы были синтезирована серия СГГМ со степенями замещения 0,40; 0,54; 0,97; 0,90; 1,17; 1,06 и проанализированы их антикоагулянтные свойства тестами времени реакции крови (ВРК) и активированного частичного тромбопластинового времени (АЧТВ). Установлено, что увеличение содержания сульфатных групп при увеличении продолжительности процесса коррелирует с возрастанием антикоагулянтной активности, достигавшей максимума у образцов СГГМ-150 и СГГМ-180 (до  $18,52 \pm 0,85$  и  $21,19 \pm 2,89$  МЕ/мг по АЧТВ соответственно).

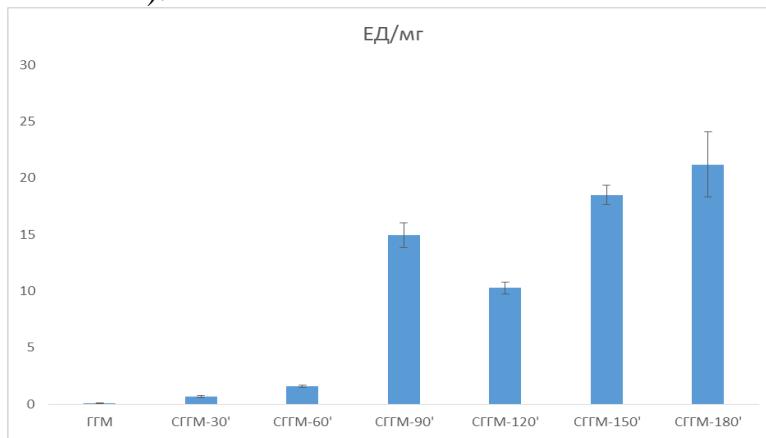


Рис. 1 - Антикоагулянтная активность образцов

### Список литературы:

[1] Местечкина Н.М., Щербухин В.Д. Прикладная биохимия и микробиология **46**, 291-298 (2010).

[2] Drozd N.N., Kuznetsova S.A., Malyar Y.N. et. all, Pharmaceutics **14**, 2678 (2022).

### Благодарности

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 22-73-10212-П.*

## 4-С-08

# ФЛОКУЛЯЦИЯ СУСПЕНЗИИ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ МАГНИТНЫМИ НАНОКОМПОЗИТАМИ

Цатурян Э.Б., Проскурина В.Е.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет  
ed.tsatryan@yandex.ru*

Актуальным направлением современной биомедицины является адресная доставка лекарств и магнитно-опосредованное разделение биомолекул. Значительное внимание уделяется магнитным флокулянтам на основе магнитных наночастиц ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) и хитозана в связи с высоким значением магнитного момента, биосовместимостью, химической стабильностью, нетоксичностью и простотой изготовления. В связи с этим цель исследования – разработка и анализ свойств магнитных флокулянтов, обеспечивающих разделение в многокомпонентных дисперсных системах. В работе были синтезированы магнитные флокулянты (МФ) на основе наночастиц  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и природных полисахаридов: цитрусовый пектин ( $\beta = 10$  мол.%,  $M = 0.023 \cdot 10^6$ ) и хитозан ( $\beta = 51,2$  мол.%,  $M = 0.083 \cdot 10^6$ ). Методом соосаждения солей  $\text{FeCl}_2$  и  $\text{FeCl}_3$  в присутствии  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  при мольном соотношении  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} = 2:1$  при  $80^\circ\text{C}$  при постоянном перемешивании в атмосфере  $\text{N}_2$  в течение 30 мин были получены образцы магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  по методике [1]. Затем в водный раствор полисахарида добавляли заданную массу наночастиц  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и перемешивали в течение 6 ч. После образцы МФ отделяли с помощью постоянного магнита и промывали деионизированной водой. Синтезированный МФ сушили в вакуумной печи при  $105^\circ\text{C}$  в течение 24 ч. Методом динамического светорассеяния измерены размеры и дзета-потенциал синтезированных частиц магнетита и магнитных флокулянтов. ИК-спектры магнитных флокулянтов указывали на изменение поверхностных свойств частиц магнетита с покрытием, что позволило предположить об успешном проведении синтеза. Для изучения флокулирующей способности МФ использовали реальную дисперсную систему – суспензию бентонитовой глины, которая была охарактеризована по размерам частиц (средний размер частиц  $R_{cp} = 0.76 \cdot 10^{-6}$  м) и  $\zeta$ -потенциалу ( $\xi = -42.1$  мВ). Для создания магнитного поля использовали неодимовые магниты. Воздействие магнитного поля на процесс флокуляции оценивали при изменении положения магнитов в горизонтальной плоскости от измерительного цилиндра на фиксированное расстояние. С помощью датчика Холла измерены величины магнитного поля при изменении расстояния между магнитами. По мере увеличения концентрации магнитных флокулянтов до  $C = 60 \cdot 10^{-4}$  кг/м<sup>3</sup> происходит снижение флокулирующей активности, объясняющееся уменьшением участия частиц магнитного флокулянта в актах флокулообразования. Дополнительным подтверждением различий в структуре и форме агрегатов-флокул являются данные дисперсионного анализа методом оптической микроскопии. Наибольший размер флокул и степень агрегации установлены для системы бентонитовой глины, содержащей магнитный флокулянт, имеющий в своем составе образец магнетита со средним размером частиц 70 нм и хитозан. Более высокая степень агрегации свидетельствует о существенном вкладе электростатических взаимодействий при флокуляции. В заключении отметим, что магнитные флокулянты нейтральны по природе, не токсичны, биосовместимы, технологически обеспечивают быстрое и легкое удаление функционализированных магнитных частиц и связанных с ними соединений в многокомпонентных дисперсных системах.

**Благодарности** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания на оказание государственных услуг (проект № 075-01508-23-00). **Список литературы:** [1] Проскурина В.Е., Кашина Е.С., Рахматуллина А.П. // Коллоидный журнал. 2023. Т. 84. №1. С. 1-8.

## **4-С-09**

# **ПОЛИМЕРЫ ДЛЯ ВНУТРИКЛЕТОЧНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ НА ОСНОВЕ ХОНДРОИТИН СУЛЬФАТА**

**Яковлева О.И., Костандян Е.С., Будушина Е.М., Давыдов Р.Э., Дятлов В.А.**

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва  
olya.yakovleva04@mail.ru*

В ряду важнейших нерешенных проблем современной медицины остается создание материалов, обеспечивающих целевую доставку лекарств в очаг поражения, лечение хронических заболеваний и контроль процесса регенерации тканей. Природные полисахариды и их производные широко используются в качестве полимеров-носителей лекарств, благодаря биосовместимости, способности к разложению внутри организма и легкости химической модификации с формированием в структуре макромолекул удобных сайтов для связывания физиологически-активных веществ (ФАВ), включая антибиотики [1].

Одним из важнейших сульфатированных глюкозаминогликанов, допущенных к использованию в фармакологии, является хондроитин сульфат (ХС). Он способен улучшать фосфорно-кальциевый обмен в хрящевой ткани и является её ключевым компонентом, ускоряя процессы восстановления и препятствуя дегенерации хрящевой и соединительной тканей [2].

Спектр его биомедицинских применений можно существенно расширить. Будучи природным полисахаридом ХС является относительно инертным с химической точки зрения и для связывания с физиологически активными соединениями требует предварительной функционализации основной полисахаридной цепи. Целью такой модификации является создание удобных сайтов для ковалентного присоединения молекул лекарств. Простым и эффективным методом введения реакционноспособных групп является периодатное окисление полисахаридов по реакции Малапрада [3]. Этот подход широко распространен и успешно используется для химической модификации линейных и разветвленных полисахаридов, содержащих в структуре основной цепи вицинальные гидроксильные группы. В результате реакции образуются нетоксичные диальдегидполисахариды, способные реагировать с большинством ФАВ.

Настоящая работа посвящена синтезу и изучению химического строения диальдегидхондроитин сульфата, полученного по реакции Малапрада. Количество окисленных звеньев определяли методом обратного йодометрического титрования. Строение макромолекул определяли методами ИК-Фурье,  $^{13}\text{C}$  ЯМР спектроскопии и МАЛДИ ТОФ масс-спектрометрии. Полимер может быть использован в качестве носителя широкого круга веществ, проявляющих физиологическую активность.

### **Список литературы:**

- [1] Dyatlov V., Seregina T., Luss A. Polymer International, John Wiley & Sons Inc. (United States), v.70, p. 837-844 (2021).
- [2] Volpi N. New York, Academic Press, 2006.
- [3] Dyatlov V., Gumnikova V., Grebeneva T., Maleev V.I. International Polymer Science and Technology, v.42 (4), p. 19-26 (2015).

## **СЕКЦИЯ 5**

***ТЕОРИЯ, КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И  
МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ***

**УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ**

## 5-О-01

# РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОЛНОАТОМИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСТВОРИТЕЛЯ N-МЕТИЛ-2-ПИРРОЛИДОН

Муратова А.Д., Комолкин А.В., Маркелов Д.А.

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург  
st087242@student.spbu.ru*

N-метил-2-пирролидон (NMP) – органический растворитель, который представляет собой пятичленный лактам, характеризующийся высокой полярностью, низкой летучестью, хорошей растворимостью в воде и органических растворителях, а также термической и химической устойчивостью [1]. Благодаря этим уникальным характеристикам, NMP применяется в нефтехимической, фармацевтической, полимерной, текстильной, лакокрасочной и электрохимической промышленности. Несмотря на накопленные данные о структуре NMP и конформациях [2], его динамический свойства — диффузия и вязкость — подробно не изучены с помощью молекулярно-динамического (МД) моделирования. Данные характеристики ключевые для процесса смешивания веществ и макромолекул в этом растворителе. Цель настоящей работы — разработать для МД моделирования и охарактеризовать динамическую полноатомистическую модель растворителя NMP. В настоящем исследовании были рассмотрены два типа парциальных зарядов атомов: (i) заряды, рекомендованные документацией для силового поля OPLS-AA, и (ii) заряды, рассчитанные квантово-химическим методом RESP с использованием базиса 6-31G\*. Модели растворителя были промоделированы в пакете GROMACS в силовом поле OPLS. Значения плотности для обоих типов модели были близкими к экспериментальным (1.03 г/см<sup>3</sup>). Каждая система уравновешивалась в течении 10 нс. Затем моделирования продолжалось в течении 10 нс для получения равновесной траектории. Коэффициент диффузии в каждой системе для бесконечно разбавленного раствора рассчитывался с помощью линейной экстраполяции значений при различных размерах ячейки. Для каждой модели были проанализированы динамические характеристики в широком температурном диапазоне (273 К-323 К).

Было установлено, что несмотря на то, что значение коэффициента диффузии ( $D$ ) отличалось от экспериментальных значений (1.3-2 раза) наклон температурной зависимости коэффициента диффузии обеих моделей близок к с экспериментальному. Значение вязкости также согласуется с экспериментальным значением с учетом его калибровке с помощью отношении коэффициентов диффузии ( $D_{MD}/D_{exp}$ ).

### **Список литературы:**

[1] Psimadas D., Georgoulias P., Valotassiou V., Loudos G. Pharm.Sci **101**, 2271-2280 (2012).

[2] Usula M, Porcedda S., Mocci F., Gontani L., Caminiti R., Cesare Marincola F. J, Phys.Chem. **118** (35), 10493-10502 (2014).

### **Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке Санкт-Петербургского государственного Университета (№ 125022002755-5).

## 5-О-02

# ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С КОМПОЗИТНЫМ НАНОВОЛОКНОМ НА ОСНОВЕ ПОЛИКАПРОЛАКТОНА

Иванькова Ю.И., Сорокина Л.Ю.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва  
i@ivajull.ru*

Биорезорбируемые материалы, такие как поликапролактон (PCL), широко применяются в восстановительной медицине, например, в качестве формообразующего каркаса для швовых материалов. Поликапролактон представляет собой плотный и пористый тип подложки, состоящей из повторяющейся цепи  $[-(\text{CH}_2)_5-\text{CO-O-}]_n$ . Модификация поверхности различными функциональными группами способствует повышению сорбционных свойств полимера. Введение в состав PCL-волокон различных антибактериальных компонентов предотвращает развитие бактерий и снижает риск побочных эффектов для всего организма.

В работе проведено теоретическое моделирование сорбции антибактериальных препаратов – банеоцина и хлоргексидина. Модель структуры поликапролактона, модифицированного плазмой, формировали путём введения COOH-группы (PCL-COOH), а активацию плазмы EDC (PCL-COOH<sup>EDC</sup>) осуществляли замещением водорода в карбоксильной группе на EDC. Расчёты выполняли методом DFTB.

Квантово-химический анализ показал, что для всех типов антибактериальных препаратов модификация поверхности PCL улучшает их сорбцию за счёт образования сети водородных связей, по сравнению с не модифицированной поверхностью. Активация поверхности EDC способствует образованию химического связывания с подложкой. При этом распределение зарядов показало, что формирование амидной связи приводит к более равномерному перераспределению и выравниванию электронной плотности между хлоргексидином и подложками по сравнению с физической адсорбией.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 24-79-10121).*

## 5-О-03

# КОНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ЩЁТОК ИЗ ГРЕБНЕОБРАЗНЫХ ДИБЛОЧНЫХ МАКРОМОЛЕКУЛ

Лукиев И.В.<sup>1,2</sup>, Борисов О.В.<sup>1,2</sup>, Жулина Е.Б.<sup>2</sup>, Михайлов И.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Филиал НИЦ "Курчатовский институт" - ПИЯФ - ИВС,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
ivan.lukiev@mail.ru*

Полимерные щётки из разветвлённых макромолекул являются предметом теоретических исследований последние несколько лет [1, 2]. Полимерные покрытия на их основе позволяют тонко настраивать трибологические свойства взаимодействующих поверхностей, что актуально при производстве искусственных суставов.

В данной работе исследовались плоские полимерные щётки с привитыми гребнеобразными цепями. Каждая цепь состояла из двух блоков: корневого и периферийного. Каждый блок состоял из линейного остова с регулярно привитыми боковыми цепями. Для каждого блока варьировалось количество привитых цепей и их длина. Мономерные звенья остова и боковых цепей в рассмотренной упрощённой модели полагались одинаковыми по размеру. Разветвлённость привитых макромолекул определялась топологическим коэффициентом  $\eta$ . В качестве инструмента исследования использовались аналитический и численные методы самосогласованного поля в рамках крупнозернистой решёточной модели. Аналитически получена зависимость молекулярного потенциала от структурных параметров привитых цепей. Показано, что постепенное отсоединение боковых цепей в периферийном блоке приводит к уменьшению общей и средней толщин щётки примерно на 50%. Уменьшение количества боковых цепей в корневом блоке с более короткими боковыми цепями имеет значительно более слабый эффект: уменьшение общей толщины щётки примерно на 5%, а средней толщины щётки - примерно на 15%. Для щёток с длинными боковыми цепями в периферийном блоке и короткими в корневом наблюдается внутренняя сегрегация, с образованием мертвых зон, обедненных свободными концами. При обратной ситуации сегрегация также наблюдается, но ширина мертвой зоны при этом уменьшается. Численные расчеты подтверждают результаты аналитической модели, что позволяет использовать эту модель для прогнозирования конформационных свойств полимерных щёток из гребнеобразных дробочных макромолекул.

### Список использованной литературы

[1] Pickett G.T. Classical Path Analysis of end-Grafted Dendrimers: Dendrimer Forest. *Macromolecules* 2001, 34, 8784–8791.

[2] Leermakers F.A.M., Zhulina E.B., Borisov O.V. Interaction forces and lubrication of dendronized surfaces. *Current Opinion in Colloid and Interface Science* 2017, 27, 50–56.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта РНФ №(23-13-00174).

## 5-О-04

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОНЕЧНОГО РАДИУСА КОНТАКТА И ЭКСТРУЗИИ ПЕТЕЛЬ В ИНТЕРФАЗНОМ ХРОМАТИНЕ

Старков Д.Е.<sup>1</sup>, Половников К.Е.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Сколковский институт науки и технологий, г. Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Институт физики и астрономии, Потсдамский университет, Потсдам,  
Германия*

*Dmitry.Starkov@skoltech.ru*

Хромосома в интерфазном ядре клетки формирует сложную трёхмерную структуру, которую физически можно представить как компактно упакованную полимерную цепь. Одной из основных метрик для её исследования является контактная вероятность  $P(s)$ , определяемая из карт Hi-C [1] как функция частоты контактов пар геномных позиций на контурном расстоянии  $s$  друг от друга. Предыдущие работы показали, что хроматин можно моделировать как фрактальную цепь со случайно распределёнными петлями, формируемыми экструзией когезина [2,3]. В частности, ранее был представлен подход, аналитически предсказывающий количественные и качественные особенности этого поведения в рамках модели *вмороженного беспорядка петель*, где хроматин рассматривался как цепь фрактальной размерности  $df = 3$  с чередующимися уравновешенными петлями и промежутками с экспоненциально распределенными длинами  $\lambda$  и  $g$  соответственно [3]. В текущей работе мы расширили эту методику, включив в рассмотрение также и конечный радиус захвата в Hi-C эксперименте, который задаёт, на каком физическом расстоянии участки генома должны располагаться, чтобы быть считаны как контакт. Это рассмотрение позволило описать поведение логарифмической производной  $P'(s)$  на масштабах нескольких десятков килобаз, где наблюдается минимум, ранее не описывавшийся аналитически. Мы выявляем, что он формируется в результате взаимодействия двух процессов – выпячивания (задающегося параметром периода цепи  $T = \lambda + g$ ) и конечного радиуса контакта  $r_c$ , а положение этого минимума в рамках теории возмущений по переменной  $s/T$  описывается простыми функциями этих двух параметров. Измеряя положение и глубину этого минимума в экспериментальных кривых  $P(s)$ , можно извлечь линейную плотность петель  $1/T$ , не прибегая к крупномасштабному моделированию. Систематический анализ разных наборов данных приводит к оценке плотности  $6 \pm 1$  петель на мегабазу. Эта оценка позволяет сделать вывод о мономерном устройстве выпячивающего когезина, а также, в совокупности с прошлыми результатами, даёт описание организации хроматина на геномных масштабах от  $\sim 1\text{кб}$  до  $\sim 10\text{Мб}$ .

### Список литературы:

- [1] Rao S.S.P., Huntley M.H., Durand N.C., Stamenova E.K., Bochkov I.D., Robinson J.T. et al. Cell, 159: 1665–1680 (2014). [2] Fudenberg G., Imakaev M., Lu C., Goloborodko A., Abdennur N., Mirny L.A. Cell Reports, 15: 2038–2049 (2016). [3] Polovnikov K.E., Brandão H.B., Belan S., Slavov B., Imakaev M., Mirny L.A. Phys. Rev. X, 13(4) (2023).

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке РНФ №25-13-00277.

## 5-О-05

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ ГАЗОВ В СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ПОЛИСУЛЬФОНА И АСФАЛЬТЕНОВ

Волгин И.В.<sup>1</sup>, Клужин Л.И.<sup>2</sup>, Люлин С.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Организация, город American University of Beirut, Department of Physics, Beirut  
i.v.volgin@gmail.com*

В последние годы асфальтены – побочные продукты глубокой переработки нефти – привлекают всё большее внимание как перспективный класс нанонаполнителей. Тем не менее, эффект их включения в структуру полимерных газоразделительных мембран остаётся в значительной степени неизученным. Молекулярное моделирование предлагает эффективный способ решения этой проблемы. В данной работе представлены результаты компьютерного моделирования растворимости газов в полисульфоне и в нанокомпозитах на его основе, содержащих асфальтены. В ходе исследования выполнена верификация полноатомной модели полисульфона с использованием недавно разработанного аналитического подхода [1], позволяющего осуществлять сравнение результатов компьютерного моделирования с экспериментальными данными при учете особенностей приготовления начальных образцов полимера из расплава в моделировании. Полученные нами результаты не только демонстрируют эффективность ранее разработанного аналитического подхода, но также показывают, что включение асфальтенов приводит к повышению растворимости газов в нанокомпозитной мемbrane. Данный результат указывает на потенциальную способность применения асфальтенов для целенаправленного управления свойствами полимерных газоразделительных мембран.

### **Список литературы:**

[1] Volgin I.V., Andreeva M.V., Larin S.V., Klushin L.I., Lyulin S.V. Macromolecules **57**, 586 (2024).

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по крупному научному проекту по приоритетным направлениям научно-технологического развития (грант № 075-15-2024-553).*

## 5-О-06

# НАПРАВЛЕННЫЙ ПОИСК ВЕЗИКУЛЯРНЫХ СТРУКТУР В РАСТВОРАХ АМФИФИЛЬНЫХ СОПОЛИМЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРСИСТЕНТНЫХ ДИАГРАММ

Буглаков А.И.<sup>1</sup>, Белкина К.А.<sup>1,2</sup>, Василевская В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмиянова РАН*

<sup>2</sup>*Московский физико-технический институт*

*buglakov@polly.phys.msu.ru*

Амфифильные сополимеры способны самособираться во множество различных структур в растворах, а морфология получающихся агрегатов определяется как условиями среды, так и архитектурой макромолекул. Среди этого разнообразия особый интерес представляют везикулярные агрегаты или полимеросомы, представляющие собой полость, окруженную бислоем. Такие агрегаты используются для доставки лекарственных агентов, для сбора вредных веществ внутри организмов, так и в качестве наноразмерных реакторов. С одной стороны, представляется возможным подобрать нужный полимер под заданную функциональность таких везикул. С другой стороны, разнообразие возможных структур сложных в архитектуре полимеров создает сложность для нахождения областей существования желаемых агрегатов. В этом случае даже использование методов молекулярного моделирование оказывается тяжеловесным и ресурсозатратным. Используя современные оптимизационные алгоритмы, эту проблему можно решить.

В данной работе на основе байесовской оптимизации реализован метод эффективного построения многомерных диаграмм состояний для растворов амфифильных дублок сополимеров с линейным и гребнеобразным блоками, а также метод оптимизации структурных характеристик агрегатов для направленного поиска желаемой морфологии полимерных частиц в растворе.

Проведено сравнение двух известных из литературы методологий построения диаграмм - на основе регрессии гауссовского процесса и на основе алгоритма распространения метки [1]. Расчеты проводились в рамках мезоскопического метода диссипативной динамики частиц [2].

Определены условия формирования мицелл и везикул амфифильных дублок-сополимеров с расслоением на уровне отдельных блоков и расслоением на уровне гребнеобразного блока. Разработаны подходы для нахождения заданной морфологии раствора амфифильных сополимеров с использованием геометрического интегрального параметра и графовой сверточной нейронной модели, обученной на траекториях, доступных из литературы.

### **Список литературы:**

- [1] Chengyu Dai, Glotzer S.C. J. Phys. Chem. B. 2020. Vol. 124, 7. P. 1275–1284.  
[2] Groot R.D., Warren P.B. J. Chem. Phys. 1997. Vol. 107. P. 4423.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 19-73-20104-П. Моделирование проводилось на оборудовании Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова.*

## 5-О-07

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АМФИФИЛЬНЫХ МИКРОГЕЛЕЙ С ГИДРОФОБНЫМИ МАКРОМОНОМЕРАМИ И МАКРОСШИВАТЕЛЯМИ

Гумеров Р.А.<sup>1</sup>, Ужегов А.А.<sup>1</sup>, Бушуев Н.В.<sup>1</sup>, Анахов М.В.<sup>1</sup>, Рудяк В.Ю.<sup>2</sup>,  
Потемкин И.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический  
факультет, Москва, Российская Федерация*

<sup>2</sup>*Тель-Авивский университет, Тель-Авив, Израиль  
gumerov@polly.phys.msu.ru*

Микрогели являются уникальным классом высокомолекулярных соединений, которые сочетают в себе как свойства линейных полимерных цепей, так и твердых коллоидных частиц и даже ПАВов [1]. Одним из наиболее перспективных приложений таких макромолекулярных объектов является адресная доставка лекарств, где к важным требованиям к контейнеру относятся его биосовместимость и высокая степень загрузки нерастворимыми в воде лекарственными веществами. Подходящим вариантом для данной цели являются амфифильные микрогели, содержащие в своем составе гидрофильные и гидрофобные звенья. В свою очередь, использование водонерастворимых макромономеров или макросшивателей на этапе синтеза позволит формировать внутри полученных полимерных сеток гидрофобные домены, аккумулирующие гостевые молекулы [2]. В настоящей работе методом диссипативной динамики частиц были смоделированы набухание и коллапс одиночных микрогелей на основе N-изопропилакриламида и гидрофобного макромономера (или макросшивателя) олигокапролактона в водной среде. Помимо этого, было также смоделировано поглощение амфифильными частицами гидрофобных молекул. В качестве моделей микрогелей были рассмотрены полимерные сетки на основе алмазоподобной решетки и сетки, полученные в компьютерном синтезе, воспроизводящем либо метод дисперсионной, либо миниэмulsionной полимеризации [3]. Было изучено влияние доли гидрофобной компоненты, ее типа (макромономер или макросшиватель), а также ее распределения внутри сетки (равномерная или по типа «ядро-оболочка») на степень набухания последней. Кроме того, было изучено влияние концентрации гостевых молекул на степень набухания микрогелей различной архитектуры.

### Список литературы:

- [1] Anahov M.V., Gumerov R.A., Potemkin I.I., Mendeleev Commun., **30**, 555 (2020).
- [2] Kehren D., Lopez C.M., Theiler S., Keul H., Möller M., Pich A., Polymer, **172**, 283 (2019).
- [3] Rudyak V.Y., Kozhunova E.Y., Chertovich A.V., Scientific Reports, **9**, 13052 (2019).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 24-43-10004.  
Моделирование было проведено на суперкомпьютере “Ломоносов-2”.

## 5-О-08

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОРОШКОВЫХ НАНОЦЕЛЛЮЛОЗ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ И КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Пруссий А.И.<sup>1</sup>, Токко О.В.<sup>1</sup>, Кадетова А.В.<sup>1</sup>, Котельникова Н.Е.<sup>2</sup>,  
Киселев В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петрозаводский государственный университет», г. Петрозаводск*

<sup>2</sup>*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения «петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова национального исследовательского центра «Курчатовский институт» – Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
prusskiiandrey@gmail.com*

Впервые исследована структура порошковых образцов наноцеллюлозы (НЦ), выделенных из макулатурной массы (отходов газетной бумаги и картона). Методом Ритвельда установлено, что структура образцов НЦ соответствуют фазе целлюлозы I $\beta$  с антипараллельным расположением молекул. Степень кристалличности образцов, определенная методом Шеррера, составила ~64 %, что ниже аналогичных показателей порошковых целлюлоз, выделенных из волокнистых отходов растительных целлюлоз - льняного волокна и древесной лиственной отбеленной целлюлозы. Наибольший размер области когерентного рассеяния наблюдался вдоль оси роста фибрилл [001], что указывает на вытянутую морфологию кристаллитов. Методом компьютерного моделирования показано, что соответствие экспериментальных и теоретических кривых рассеяния достигается суперпозицией нескольких кластеров с различным уровнем упорядоченности.

### Благодарности

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-22-00475, <https://rscf.ru/project/25-22-00475/>.*

## 5-О-09

# ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ НА КОНФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ НА МЕЖФАЗНЫХ ГРАНИЦАХ ВОДА-ТОЛУОЛ И ВОДА-ВАКУУМ КАРБОСИЛАНОВЫХ ДЕНДРИМЕРОВ С ГИДРОКСИЛЬНЫМИ ГРУППАМИ В КОНЦЕВЫХ СЕГМЕНТАХ

Курбатов А.О.<sup>1</sup>, Литвин К.А.<sup>1</sup>, Балабаев Н.К.<sup>1,2</sup>, Баскаль Ф.В.<sup>1</sup>, Крамаренко Е.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

<sup>2</sup>Институт математических проблем биологии РАН – филиал ИПМ

им. М.В. Келдыша РАН, г. Пущино

*kurbatov@polly.phys.msu.ru*

Амфифильные дендримеры, содержащие фрагменты различной химической природы, способны к самоорганизации в селективных растворителях и проявляют поверхностную активность. Изучение взаимосвязи между составом, строением и свойствами таких систем важно для разработки новых материалов.

В данной работе методами атомистической молекулярной динамики и диссипативной динамики частиц исследовано влияние концентрации карбосилановых дендримеров с концевыми гидроксильными группами на их конформационное поведение на межфазных границах вода/воздух и вода/толуол.

Анализ структуры одиночных дендримеров на межфазных границах вода/вакуум и вода/толуол показал, что дендримеры могут образовывать конформацию «зонтика», в которой все гидроксильные группы экспонированы в воду (рис.1). Рассчитаны вклады в потенциальную энергию дендримеров, проведен анализ формы и профилей плотности. Анализ поведения одиночных и нескольких дендримеров на межфазной границе при различных концентрациях (рис.1) позволил подобрать параметры для огрубленного моделирования данных систем на больших масштабах.

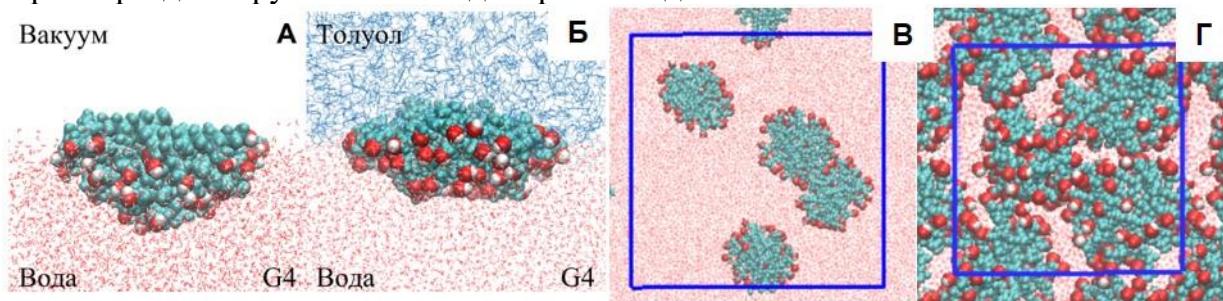


Рис. 1 - Мгновенные конформации (А, Б) одиночного и (В, Г) нескольких амфифильных карбосилановых дендримеров четвёртой генерации на межфазной границе (А, В) вода-вакуум и (Б, Г) вода-толуол. Красным цветом отмечены молекулы воды, голубым - молекулы толуола, темно-синим – границы ячейки моделирования. Дендример показан в увеличенном масштабе, красным и белым цветом изображены атомы гидроксильных групп, кислорода и водорода.

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 24-13-00158) с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова.

## **СЕКЦИЯ 5**

### ***ТЕОРИЯ, КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ***

### **СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

**ДИФФУЗИОННЫЕ СВОЙСТВА РАМАМ ДЕНДРИМЕРОВ В  
РАСТВОРЕ МЕТАНОЛА**

Громова Н.Р.<sup>1,2</sup>, Комолкин А.В.<sup>1</sup>, Маркелов Д.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный  
университет, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань  
nai.khus@yandex.ru*

Диффузионные свойства и, как следствие, гидродинамический радиус ( $R_h$ ) дендримеров имеют большое значение как для теоретических исследований, так и для практических приложений. Кроме того, сравнение  $R_h$  из моделирования и экспериментов служит для проверки точности моделирования [1]. Полиамидоаминные (РАМАМ) дендримеры [2] являются наиболее известными и востребованными макромолекулами с древовидным строением. В нашей работе трансляционная и вращательная подвижность РАМАМ дендримеров в растворе метанола исследуется с помощью моделирования методом молекулярной динамики. Было установлено, что классический метод коррекции, связанный с размерами ячеек [3] моделирования, для  $R_h$ , полученных из трансляционной подвижности, дает заниженные значения по сравнению с экспериментальными данными для разных генераций дендримеров. Экстраполяция коэффициента диффузии к бесконечно разбавленному раствору дает  $R_h$  более близкие к экспериментальным данным для дендримеров РАМАМ в метаноле, но требует моделирования в нескольких ячейках разного размера. В отличие от этого подхода расчет с помощью вращательной диффузии, позволяет оценить  $R_h$  с использованием одной ячейки, дает значения, близкие к экспериментальным без какой-либо коррекции.

**Список литературы:**

- [1] *Khusnutdinova, N. R.; Markelov, D. A. Phys. Chem. Chem. Phys.* **25** (41), 28220–28229 (2023).
- [2] *Yamamoto, K.; Imaoka, T.; Tanabe, M.; Kambe, T. Chemical Reviews* **120** (2), 1397–1437 (2020).
- [3] *Yeh, I.-C., Hummer, G. J. Phys. Chem. B*, **108** (40), 15873–15879 (2004).

**Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-13-00158).*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛИНОВИДНЫХ  
МЕЗОГЕНОВ ВДОЛЬ ПОЛИМЕРНОЙ ЦЕПИ НА  
САМООРГАНИЗАЦИЮ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПЛЕКСОВ  
МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Дмитрович А.Д.<sup>1</sup>, Буглаков А.И.<sup>1, 2,3</sup>

<sup>1</sup>*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

<sup>2</sup>*Федеральный исследовательский центр химической физики имени Н.Н. Семенова  
Российской академии наук, г. Москва*

<sup>3</sup>*ИНЭОС РАН, г. Москва*

*dmitrovich.ad22@physics.msu.ru*

Супрамолекулярные комплексы на основе полиэлектролитов и противоположно заряженных амфи菲尔ных мезогенов представляют значительный интерес для создания функциональных материалов, таких как ион-селективные мембранные и системы доставки лекарств, легко перестраиваемые при введении дополнительных веществ. В данной работе исследовано влияние распределения сайтов связывания вдоль полимерной цепи на агрегацию мезогенов и формирование надмолекулярной структуры. Методами крупнозернистого компьютерного моделирования изучены особенности распределения динамически призывающихся вдоль полимерной цепи клиновидных мезогенов на самоорганизацию супрамолекулярных комплексов как в расплаве, так и в растворе. В случае расплавов рассмотрен переход между макрофазным и микрофазным расслоением, а в случае растворов особое внимание удалено формированию полимеросом и особенностям стабилизации в таких системах. Основное внимание удалено анализу агрегации мезогенов и формированию структур в зависимости от плотности и равномерности распределения сайтов связывания. Были визуализированы механизмы агрегации мезогенов и предсказана морфология комплексов, что согласуется с экспериментальными данными. Дополнительно проведено сравнение компьютерного эксперимента с экспериментальными данными и найдено качественное согласие.

**Список литературы:**

- [1] Wagner A.M. et al. Advanced Science, 2022, 9, 2200617.
- [2] Maryasevskaya A.V. et al. Journal of Colloid and Interface Science, 2025, 678, 458-469.

**Благодарности**

*Выражаю благодарность Маряевской А.В., Анохину Д.В. и Иванову Д.А. за предоставление дифрактограмм и АСМ-изображений соответствующих полимерных комплексов для сравнения.*

## 5-Р-03

# ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ТОЧКИ АДСОРБЦИОННОГО ПЕРЕХОДА СТАТИСТИЧЕСКИХ СОПОЛИМЕРОВ

Полоцкий А.А., Иванова А.С.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
sasinaas@yandex.ru*

Методы машинного обучения (МО) широко и успешно используются для решения задач химии и физики полимеров, среди которых оптимизация условий синтеза полимеров, построение фазовых диаграмм растворов полимеров и расплавов блок-сополимеров, предсказание физических свойств полимеров по химической структуре мономерного звена и многие другие.

Статистические сополимеры как большие ансамбли случайных последовательностей мономерных звеньев, представляют собой актуальную приложения возможностей методов МО. Построение моделей, которые могли бы предсказывать, например, положение точки адсорбционного перехода или поведение макромолекулы статистического сополимера в определенном интервале температур по известной первичной последовательности мономерных звеньев, позволило бы не только детально исследовать влияние последовательности звеньев на адсорбцию, но и использовать разработанные подходы в дальнейшем для решения задач, относящихся и к другим областям физики статистических сополимеров.

С помощью четырех методов машинного обучения (полиномиальная регрессия 4-го порядка, метод опорных векторов, метод случайного леса и искусственные нейронные сети) построены модели для предсказания точки адсорбционного перехода случайно-периодического сополимера по последовательности мономерных звеньев в его периоде. Точка перехода рассчитывалась с помощью метода производящих функций, дающего возможность получить соответствующие значения для всех возможных последовательностей периода заданной длины. Показано, что все модели, построенные с помощью выбранных методов, хорошо предсказывают обратную температуру адсорбционного перехода, оптимальным выбором является метод полиномиальной регрессии.

## Благодарности

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 22-23-00531).*

## 5-Р-04

# ВЛИЯНИЕ ДОЛИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОКСИЛЬНЫХ ГРУПП В КОНЦЕВЫХ СЕГМЕНТАХ КАРБОСИЛАНОВЫХ ДЕНДРИМЕРОВ НА ИХ КОНФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ В ВОДЕ, ТОЛУОЛЕ И НА МЕЖФАЗНЫХ ГРАНИЦАХ ВОДА-ТОЛУОЛ И ВОДА-ВАКУУМ

Литвин К.А.<sup>1</sup>, Курбатов А.О.<sup>1</sup>, Балабаев Н.К.<sup>1,2</sup>,  
Мерзлякова Т.Ю.<sup>1</sup>, Крамаренко Е.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

<sup>2</sup>Институт математических проблем биологии РАН – филиал ИПМ

им. М.В. Келдыша РАН, г.Пущино, МО

*kurbatov@polly.phys.msu.ru*

Дендримеры – макромолекулы с регулярной древовидной структурой, строго контролируемые размер, форма и функциональные группы которых делают их перспективными для медицины (доставка лекарств, диагностика), катализа и материаловедения. Особый интерес представляют амфифильные дендримеры, содержащие гидрофильные и гидрофобные фрагменты. Среди них выделяются Янус-дендримеры, обладающие асимметричной полярностью. Подобно Янус-частичкам, они способны образовывать мицеллы и стабилизировать межфазные границы, но их применение ограничено сложностью синтеза и недостаточной изученностью.

В данной работе методом атомистической молекулярной динамики исследуются карбосилановые дендримеры с частично гидроксилированными концевыми группами. Анализируется влияние генерации, степени модификации и типа растворителя (вода, толуол) на их конформацию. Основное внимание уделено дендримерам с равномерным и Янус-подобным распределением модифицированных звеньев (Рис. 1), а также их поведению на границах раздела вода-толуол и вода-вакуум.

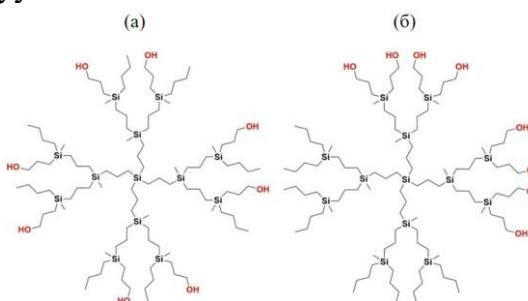


Рис. 1 - Схематическая структура дендримеров второй генерации с 50% модифицированных концевых сегментов с равномерным (а) и Янус-подобным (б) распределением OH групп.

Показано, что наиболее существенное влияние распределение OH групп оказывает на поведении дендримеров на межфазной границе вода-толуол.

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 24-13-00158) с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова.

## 5-Р-05

# ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОЛИМОРФИЗМА СУПЕРСТРУКТУР В РАСТВОРАХ МОЛЕКУЛЯРНО-ЩЕТОЧНЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ

Лебедева И.О.<sup>1,2</sup>, Жулина Е.Б.<sup>2</sup>, Борисов О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Западный окружной научно-клинический центр имени Л.Г. Соколова Федерального медико-биологического агентства, Россия

<sup>2</sup> Филиал НИЦ "Курчатовский институт" - ПИЯФ - ИВС, Санкт-Петербург, Россия  
*innale92@gmail.com*

Самоорганизованные АВ-диблок-сополимерные структуры на данный момент представляют объект особого интереса, поскольку варьирование архитектуры блоков позволяет получать тонко регулируемую морфологию наноструктур, которую возможно будет адресно подобрать для конкретного решения широкого спектра задач. Для описания особенностей самоорганизации молекулярно-щеточных блок-сополимерных молекул в селективных растворителях была разработана скейлинговая модель, которая позволила исследовать морфологические переходы между классическими морфологиями как функции основных параметров системы (концентрации раствора, степени полимеризации блоков  $N_A$  и  $N_B$ , качества растворителя и т.д.).

На данном этапе мы сфокусировались на том, каким образом будет меняться морфология самоорганизованных агрегатов в случае, если нерастворимый и/или растворимый блоки будут представлять собой молекулярную щетку в режиме полуразбавленного раствора. Были получены уравнения для свободных энергий основных классических морфологий самоорганизованных структур с использованием скейлингового подхода [1-3].

На основе данных уравнений получены фазовые диаграммы, позволяющие описать морфологические переходы в полуразбавленных растворах молекулярно-щеточных диблок-сополимеров.

### **Список литературы:**

- [1] Kataoka K., Harada A., Nagasaki Y. Block copolymer micelles for drug delivery: design, characterization and biological significance //Advanced drug delivery reviews. – 2012. – Т. 64. – С. 37-48.
- [2] Zhulina Y. B., Birshtein T. M. Conformations of block-copolymer molecules in selective solvents (micellar structures //Polymer Science USSR. – 1985. – Т. 27. – №. 3. – С. 570-578.
- [3] Birshtein T. M., Zhulina E. B. Scaling theory of supermolecular structures in block copolymer-solvent systems: 1. Model of micellar structures //Polymer. – 1989. – Т. 30. – №. 1. – С. 170-177.

### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, грант 23-13-00174.

## 5-Р-06

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛОСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ АСИММЕТРИЧНЫХ ЩЁТОК

Лукиев И.В.<sup>1,2</sup>, Скворцов А.М.<sup>2,3</sup>, Клушин Л.И.<sup>2</sup>, Борисов О.В.<sup>1,2</sup>, Михайлов И.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Филиал НИЦ "Курчатовский институт" - ПИЯФ - ИВС, г. Санкт-Петербург,  
Россия*

<sup>3</sup>*Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический  
университет, г. Санкт-Петербург, Россия  
ivan.lukiev@mail.ru*

Полимерные щётки, как модификаторы взаимодействующих поверхностей, могут выступать в качестве барьера от загрязнения и деградации. Варьируя архитектуру полимерных щёток, можно тонко настраивать трибологические свойства контактирующих поверхностей, что активно используется в смазочных материалах в машиностроении и при производстве искусственных суставов [1,2].

Исследование рассматриваемой полимерной системы проводилось в условиях атермического растворителя. Привитые линейные цепи состояли из химически идентичных звеньев и имели одинаковые значения жесткости. Для полимерных щёток варьировались значения плотности прививки и/или число звеньев основной цепи. Взаимопроникновение двух противостоящих щеток количественно определялось двумя интегральными параметрами: i) интегралом перекрывания  $\Gamma$ , представляющим собой число контактов между щётками; ii) и числом единиц мономерной щётки в чужом полупространстве  $\Sigma$ . Моделирование системы и ее свойств проводилось в рамках крупнозернистой модели с помощью метода самосогласованного поля Схойтенса–Фиира.

Показано, что вне зависимости от асимметричности системы функции произведения профилей плотности взаимодействующих щёток оказываются практически симметричными, хотя непосредственно за пределами зоны взаимопроникновения профили и их наклоны заметно различаются. Предложена формула для интегральных параметров  $\Sigma$  и  $\Gamma$ , как функций внешнего давления, для разных случаев асимметричности системы, приводящая все кривые к универсальному виду. Разработанная модель согласуется с численным моделированием и позволяет прогнозировать взаимопроникновение монодисперсных асимметричных плоских полимерных щёток.

### **Список литературы:**

- [1] Napper, D. H. Polymeric stabilization of colloidal dispersions. (No Title) 1983
- [2] Klein, J.; Perahia, D.; Warburg, S. Forces between polymer-bearing surfaces undergoing shear. Nature 1991, 352, 143–145.

### **Благодарности**

*Исследование проведено в рамках гранта РНФ (№ 25-23-00222).*

**МЕЗОСКОПИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ  
МАГНИТОАКТИВНЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ ПУТЁМ ИЗУЧЕНИЯ  
ЭЛЕМЕНТОВ ОБЪЁМА КОМПОЗИТА**

Наджарьян Т.А.<sup>1,2</sup>, Крамаренко Е.Ю.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

<sup>2</sup>*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, г. Москва  
nadz@polly.phys.msu.ru*

Магнитоактивные эластомеры представляют собой полимерные композитные материалы, содержащие частицы ферромагнитного наполнителя. Механическими и электромагнитными свойствами таких материалов возможно управлять при помощи приложения к ним магнитного поля заданной конфигурации. Благодаря возможности такого контроля, магнитоактивные эластомеры используются в качестве адаптивных демпферов, медицинских пломб и материалов для мягкой робототехники. Изучение намагничивания и реструктурирования наполнителя на мезоскопическом масштабе позволяет проследить за тем, как наличие наполнителя, его свойства и его движение влияют на локальные и усреднённые характеристики композита.

В данной работе описание материала производится на уровне некоторого элемента его объёма, то есть трёхмерной ячейки, содержащей заданное количество ферромагнитных включений. Полимерная матрица представляется в виде сплошной гиперупругой среды, а интерфейс между матрицей и частицами наполнителя – в виде слоя постоянной толщины на поверхности частиц. К ячейке материала прикладывается механическая нагрузка и однородное магнитное поле. Уравнения движения сплошной среды и уравнения Максвелла решаются при помощи метода конечных элементов.

Рассмотрены ячейки с концентрацией наполнителя от 1% до 10% по объёму. В качестве частиц наполнителя рассматривались изотропные сферические и анизотропные эллипсоидальные включения. Количество частиц в ячейке варьировалось от 2 до 64. Магнитные свойства частиц соответствовали магнитомягким (чистое железо) и магнитожёстким (сплав NdFeB) материалам. В результате конечноэлементного анализа были получены зависимости запасаемой в ячейке механической энергии, эффективного модуля упругости ячейки, сил взаимодействия между частицами, среднего расстояния между частицами и распределения механических напряжений в ячейке от величины приложенного магнитного поля для различных значений концентрации наполнителя.

**Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 23-43-00057).*

## СТРУКТУРНЫЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДНК-КИСИНГ-ЛУПОВ

Фатихова А.В., Буглаков А.И.

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, г. Москва  
fatikhova.av20@physics.msu.ru*

Кисинг-лупы (KL) [1] играют важную роль в молекулярных взаимодействиях, обеспечивая специфическое связывание нуклеотидных цепей и их фрагментов. Например, в мини-гантельных структурах они стабилизируют ДНК и влияют на процессы репликации [2]. Моделирование методом oxDNA продемонстрировало возможность термически индуцированного перехода между конформациями KL и дуплекса, хотя прямой переход кинетически затруднен. Интересно, что введение коротких олигонуклеотидных последовательностей модифицирует геометрию KL-комплексов, увеличивая межцепочечные расстояния. Фундаментальные свойства, стабильность и низкая стоимость синтеза KL открывают перспективы для их применения в биотехнологиях. Дальнейшее развитие данного направления в сочетании с методами машинного обучения позволит разрабатывать новые программируемые наноматериалы.

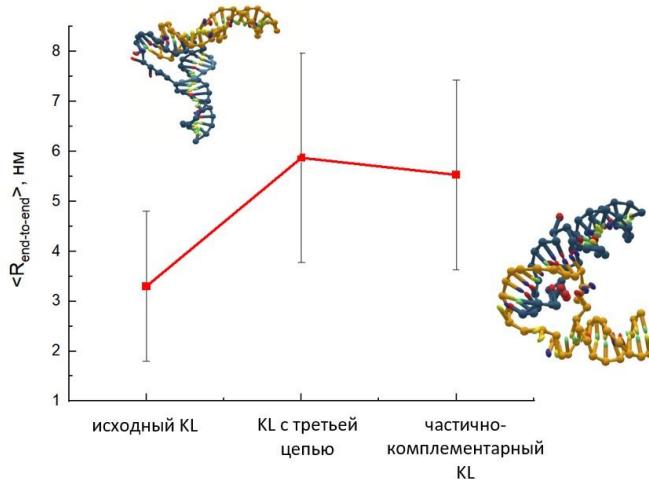


Рис. 1 - Расстояние между концами шпилек для трех различных комплексов: исходный KL (с полной комплементарностью между петлями), KL с третьей цепью и KL комплекс с частично-комплементарными петлями со снимками типичных структур.

### Список литературы:

- [1] Barth, A., Kobbe, D., & Focke, M. Nucleic Acids Research, **44**(4), 1502-1513 (2016).
- [2] Guo, P., & Lam, S. L. Journal of the American Chemical Society, **138**(38), 12534-12540 (2016).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС» (грант № 24-2-1-74-1). Работа поддержана в рамках Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета “Молекулярные технологии живых систем и синтетическая биология” (соглашение №23-Ш04-13).

## **СЕКЦИЯ 5**

### ***ТЕОРИЯ, КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ***

**ЗАОЧНЫЕ ДОКЛАДЫ**

## 5-С-01

# ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ АДСОРБЦИИ РЕГУЛЯРНОГО МУЛЬТИБЛОК-СОПОЛИМЕРА НА ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Иванова А.С., Полоцкий А.А.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт высокомолекулярных соединений, г. Санкт-Петербург  
sasinaas@yandex.ru*

Адсорбция полимерных цепей на поверхностях и межфазных границах — явление, играющее важную роль в модификации поверхности, создании полимерных нанокомпозитов и стабилизации коллоидных дисперсий. Для подобных приложений использование мультиблок-сополимеров является особенно перспективным.

Задача адсорбции мультиблок-сополимеров является многопараметрической: набор параметров включает длину блоков, сродство блоков к поверхности и растворителю, (не)совместимость между блоками и общую степень полимеризации. Варьирование всех этих параметров в широком диапазоне является экспериментально сложной задачей, что подчёркивает важность использования теоретических подходов и методов компьютерного моделирования в этой области. Настоящая работа посвящена теоретическому изучению адсорбции мультиблок-сополимеров из раствора на плоской поверхности с помощью численного метода самосогласованного поля Схойтенса-Флира. Мультиблок-сополимер содержит блоки, которые адсорбируются (притягиваются) к поверхности или нейтральны к ней. Исследовано влияние структуры мультиблок-сополимера (длины блоков и состава) на адсорбцию при варьировании энергии притяжения адсорбционно-активных блоков к поверхности.

Показано, что структура регулярных мультиблок-сополимеров обеспечивает большую адсорбцию полимера на поверхности по сравнению с гомополимером. Кроме того, для мультиблок-сополимера существует «оптимальная» длина адсорбционно-активного блока при заданной длине периода регулярного сополимера в целом, которая обеспечивает наибольшее количество адсорбированного материала на поверхности и, как следствие, максимальную толщину адсорбированного слоя. Зависимость доли адсорбированных звеньев в отдельной цепи от длины адсорбционно-активного блока в режиме сильной адсорбции немонотонна и проходит через минимум, соответствующий составу, при котором с поверхностью связывается наибольшее количество полимерных цепей.

### **Благодарности**

*Работа выполнена в рамках государственного задания филиала НИЦ «Курчатовский институт» — ПИЯФ — ИВС по теме № 1023031700046-9-1.4.4 "Равновесные и динамические характеристики полимерных систем сложного состава и архитектуры: эксперимент, теория и компьютерное моделирование".*

## 5-С-02

# МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК С МАЛОЙ ТОЛЩИНОЙ СЛОЕВ: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Мельникова С.Д., Ларин С.В.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» -  
Институт высокомолекулярных соединений, Санкт-Петербург, Россия  
sofia.melnikova122@gmail.com*

В настоящее время полимерные пленки широко используются в качестве различных упаковочных материалов. Уменьшение толщины пленок до масштабов сравнимых с радиусом инерции  $R_g$  полимеров может способствовать увеличению ряда механических характеристик [1, 2]. Однако столь тонкие пленки не обладают необходимой в эксплуатации прочностью. Метод коэкструзии позволяет создавать многослойные пленки из двух и более полимеров с большим количеством слоев нанометровой толщины сравнимой с  $R_g$ . При этом толщина самой пленки остается микрометровой. Целью работы являлось исследование зависимости механических характеристик многослойных полимерных пленок от толщины слоев при их масштабах сравнимых с  $R_g$  полимеров. Анализ механических свойств модельных пленок проводился с помощью компьютерного моделирования методом молекулярной динамики для деформаций одноосного растяжения и сдвига.

В рамках работы выполнялось полноатомное моделирование с помощью программного пакета Gromacs в силовом поле GAFF [3, 4]. Рассмотрены 4 типа модельных пленок: полилактид/полибутиленсукцинат (ПЛА/ПБС), полилактид/поли-3-гидроксибутират (ПЛА/ПГБ), полилактид/полиэтилен (ПЛА/ПЭ), и ПЛА/ПЛА. ПЛА/ПГБ и ПЛА/ПБС состояли из совместимых при выбранных степенях полимеризации полимеров, ПЛА/ПЭ – из несовместимых. Толщина слоев варьировалась на наномасштабе от значений порядка  $2R_g$  до  $R_g$ . Установлено, что уменьшение толщины слоев в многослойных полимерных пленках приводит к увеличению значения модуля Юнга для двухкомпонентных систем в случае аморфных полимеров в слоях вне зависимости от их совместимости. Показано, что такое изменение механических характеристик связано с энтропийными эффектами. В случае частично-кристаллического ПЭ в слоях пленки ПЛА/ПЭ существенного увеличения модуля Юнга не отмечалось. Также для ряда систем наблюдалось небольшое увеличение предела текучести. Модуль сдвига при варьировании толщины слоев практически не менялся.

### Список литературы:

- [1] Wang J., Shi F.G., Nieh T.G., Zhao B., Brongo M.R., Qu S., Rosenmayer T. *Scr. Mater.* **42** (7), 687 (2000). [2] Wang G., Najafi F., Ho K., Hamidinejad M., Cui T., Walker G.C., Singh C.V., Filleyter T. *Macromolecules* **55** (4), 1248 (2022). [3] Van Der Spoel D., Lindahl E., Hess B., Groenhof G., Mark A.E., Berendsen H.J.C. *J. Comput. Chem.* **26** (16), 1701 (2005). [4] Wang J., Wolf R.M., Caldwell J.W., Kollman P.A., Case D.A. *J. Comput. Chem.* **25** (9), 1157 (2004).

## 5-С-03

# ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНАЯ ЩЕТКА В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОРЕ: МОДЕЛЬ САМОСОГЛАСОВАННОГО ПОЛЯ В ПРИБЛИЖЕНИИ ПУАССОНА-БОЛЬЦМАНА

Попова Т.О.<sup>1,2</sup>, Лактионов М.Ю.<sup>2</sup>, Жулина Е.Б.<sup>1</sup>, Борисов О.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ – ИВС, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург  
*salamatovat170301@gmail.com*

Функциональные мезопористые мембранные с полиэлектролитными (ПЭ) щетками, закрепленными на внутренних поверхностях пор, представляют интерес для создания "умных" систем контролируемого транспорта. Подобные системы находят применение в селективном разделении белков, очистке воды, и бионанокатализе, где ключевую роль играет возможность управления проницаемостью пор в ответ на изменение внешних условий, таких как ионная сила или pH раствора. Конформация таких структур определяет селективность транспорта заряженных наночастиц, включая глобулярные белки и вирусы. В работе представлена аналитическая теория конформаций ПЭ щетки, закрепленной на внутренней поверхности длинной цилиндрической поры, в рамках приближения Пуассона–Больцмана. Исследованы зависимости толщины щетки, радиального профиля плотности мономерных звеньев и распределения электростатического потенциала в зависимости от радиуса поры, архитектурных параметров щетки и ионной силы раствора. Показано, что сужение поры приводит к немонотонному изменению толщины щетки, которая достигает максимума при  $H_{\text{щетки}} \approx R_{\text{поры}}$ . Важным результатом также является предсказание конформационного перехода, связанного с открытием или закрытием полимер-свободного канала в центре поры при изменении концентрации соли/архитектурных параметров щетки. При низкой ионной силе цепи щетки заполняют весь объем поры, тогда как увеличение концентрации соли вызывает их сжатие и образование свободного канала. Результаты аналитической теории демонстрируют хорошее согласие с численными расчетами методом Схойтенса–Флира (SF-SCF). Особый интерес представляет влияние электростатического поля щетки на транспорт полиамфолитных наночастиц. Как показано в экспериментальных и теоретических работах [1, 2], вблизи изоэлектрической точки может происходить инверсия знака заряда белка внутри щетки, что делает абсорбцию белка ПЭ щеткой термодинамически благоприятной, даже в случае одноименно заряженного белка и щетки. Это открывает перспективы для разработки высокоселективных мембран, способных разделять белки по размеру и заряду.

### Список литературы:

- [1] Wittmann A., Haupt B., Ballauff M. Phys. Chem. Chem. Phys. 5, 1671–1677 (2003).  
[2] Popova T.O., Borisov O.V., Zhulina E.B. Langmuir 40(2), 1232–1246 (2024).

### Благодарности

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

## 5-С-04

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛИАМФОЛИТНЫХ НАНОКОЛЛОИДОВ С рН-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМИ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫМИ ЩЁТКАМИ: ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРИБЛИЖЕНИИ САМОСОГЛАСОВАННОГО ПОЛЯ

Попова Т.О.<sup>1,2</sup>, Лактионов М.Ю.<sup>2</sup>, Жулина Е.Б.<sup>1</sup>, Борисов О.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ – ИВС, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет ИТМО, г. Санкт-Петербург

Исследование взаимодействий полиэлектролитных (ПЭ) щёток с амфолитными наноколлоидными частицами, имитирующими глобулярные белки, представляет значительный научный интерес. Эти взаимодействия играют ключевую роль во многих биологических процессах, таких как связывание вирусов с клеточными поверхностями, и находят широкое применение в практических приложениях — в частности, в адресной доставке лекарств, разработке биосенсоров и ферментативных катализаторов. Особый интерес представляет изучение абсорбции белков ПЭ щётками вблизи изоэлектрической точки (ИЭТ, рI), когда заряд белка совпадает по знаку с зарядом щётки. Такие системы обеспечивают коллоидную стабильность и сохраняют ферментативную активность белков, что делает их перспективными для биомедицинских применений. В данной работе рассмотрено равновесное распределение наноколлоидных частиц между буферным раствором и ПЭ щётками, образованными щётками слабого (рН-чувствительного) и сильного ПЭ с одинаковой средней степенью зарядки. Для анализа использован метод самосогласованного поля Пуассона–Больцмана, позволяющий позиционно-зависимые профили заряда наноколлоида и свободную энергию его внедрения в щётку в зависимости от рН, ионной силы раствора и типа белка (характеризуемого значениями рK<sub>+</sub> и рK<sub>-</sub>). Показано, что в случае щётки слабого ПЭ, при  $pI \geq pK_{щётки}$  и  $pH \geq pI$ , характер абсорбции качественно схож с абсорбцией щёткой сильного ПЭ, однако потенциальный барьер на периферии оказывается более широким, что может кинетически затруднять абсорбцию. При снижении рН ниже ИЭТ наблюдается монотонное увеличение глубины минимума свободной энергии для щётки сильного ПЭ, тогда как для щётки слабого ПЭ этот тренд нарушается из-за конкуренции между растущим положительным зарядом наноколлоида и уменьшающимся отрицательным зарядом щётки. Отдельно рассмотрен случай, когда  $pK_{щётки}$  щётки слабого ПЭ близка к  $pI$  наноколлоида. В этой области чувствительность обоих компонентов к изменению рН приводит к сложным эффектам абсорбции. При  $pH > pI \approx pK_{щётки}$ , щётка и наноколloid заряжены одноимённо, а их заряды возрастают по модулю, что делает поведение щёток сходным. Напротив, при  $pH < pI \approx pK$ , наноколloid приобретает положительный заряд, а щётка слабого полиэлектролита частично теряет заряд, что ослабляет абсорбцию по сравнению со щёткой сильного ПЭ. В результате теоретического моделирования разработана модель, позволяющая прогнозировать особенности абсорбции глобулярных белков щётками слабого (рН-чувствительного) полиэлектролита. **Благодарности** Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, грант № 23-13-00174.